

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:**  
**DISEÑO DE UNA RADIOBASE MÓVIL CON TECNOLOGÍA LTE UBICADO  
EN EL BARRIO ATAHUALPA DE LA CIUDAD DE QUITO**

**AUTOR:**  
**EDWIN ALEXANDER VACA ROGEL**

**TUTORA:**  
**VERÓNICA EMMA SORIA MALDONADO**

**Quito, julio del 2021**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo EDWIN ALEXANDER VACA ROGEL, con documento de identificación N° 1722688478 respectivamente, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de soy autor del trabajo de titulación intitulado: **DISEÑO DE UNA RADIOBASE MÓVIL CON TECNOLOGÍA LTE UBICADO EN EL BARRIO ATAHUALPA DE LA CIUDAD DE QUITO**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO ELECTRÓNICO, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Edwin Alexander Vaca Rogel

1722688478

Quito, julio del 2021

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTORA**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, DISEÑO DE UNA RADIOBASE MÓVIL CON TECNOLOGÍA LTE UBICADO EN EL BARRIO ATAHUALPA DE LA CIUDAD DE QUITO realizado por Edwin Alexander Vaca Rogel, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, julio del 2021



Verónica Emma Soria Maldonado

1715185961

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	10
CAPÍTULO 1.....	12
MARCO TEÒRICO.....	12
1.1 Evolución de las Comunicaciones Móviles .....	12
1.1.1 Red Móvil de Primera Generación (1G) .....	12
1.1.2 Red Móvil de Segunda Generación (2G) .....	13
1.1.3 Red Móvil Generación (2.5G) .....	13
1.1.4 Red Móvil de Tercera Generación (3G).....	13
1.1.5 Red Móvil Generación (3.5G) .....	14
1.1.6 Red Móvil de Cuarta Generación (4G) .....	14
1.2 Bandas de Frecuencias y Espectro Electromagnético .....	16
1.2.1 Espectro Electromagnético .....	16
1.2.2 División del Espectro Electromagnético .....	16
1.3 Introducción a LTE .....	19
1.3.1 Diferencias entre LTE, LTE – Advanced y 4G.....	19
1.3.2 Arquitectura de los sistemas 3GPP .....	20
1.3.3 Especificaciones de LTE.....	22
1.3.4 Arquitectura del sistema LTE .....	23
1.3.5 Red de acceso evolucionada (E-UTRAN) .....	25
CAPÍTULO 2.....	28
FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA UNA FUTURA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED	
LTE .....	28
2.1 Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL) ...	28
2.2 Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) .....	29
2.3 Telefonía Móvil en Ecuador .....	29
2.3.1 CONECEL S.A .....	29
2.3.2 OTECEL S.A .....	30
2.3.3 CNT E.P .....	30
2.4 Estudio de factibilidad técnica de implementación.....	31
2.4.1 Factibilidad de implementación de 4G .....	31
2.4.2 Panorama de Mercado de Ecuador.....	33
2.5 Análisis de cobertura y el servicio en el barrio Atahualpa.....	35
CAPÍTULO 3.....	40
DISEÑO DE LA RADIOBASE MÓVIL CON TECNOLOGÍA LTE .....	40

3.1 Parámetros Técnicos .....	40
3.3 Modelo de Propagación .....	42
3.4 Equipos y Materiales.....	44
Equipos de funcionamiento para la cobertura, modulación, técnica de acceso al medio, potencia, codificación y sincronización. ....	44
3.4.1 Equipos para el enlace de transporte de la estación base hacia la estación nodal. ....	47
3.4.2 Topología del diseño de la red LTE con equipos a utilizarse .....	49
3.5 Análisis de Costos de equipos a utilizarse en el diseño .....	49
3.6 Análisis de los parámetros topográficos del barrio Atahualpa.....	51
CAPÍTULO 4.....	55
SIMULACIÓN, PRUEBAS, RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	55
4.1 Configuración de Parámetros en la red LTE en ICS Telecom.....	55
CAPÍTULO 5.....	62
CONCLUSIONES .....	62
RECOMENDACIONES .....	64
REFERENCIAS.....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Terminal móvil de Primera Generación .....	12
Figura 1.2 Equipo móvil de Segunda Generación .....	13
Figura 1.3 Equipos de Tercera Generación.....	14
Figura 1.4 Espectro Electromagnético .....	16
Figura 1.5 Arquitectura de alto nivel de los sistemas 3GPP (GSM, UMTS y LTE) .....	20
Figura 1.6 Arquitectura de los sistemas LTE.....	24
Figura 1.7 Red de acceso E-UTRAN.....	26
Figura 2.1 Representación porcentual de usuarios activos en cada operador móvil.....	31
Figura 2.2 Interacción y convergencia de 3G-4G .....	32
Figura 2.3 Líneas Móviles por operador en Ecuador.....	34
Figura 2.4 Líneas Móviles en Ecuador dependiente de la tecnología.....	35
Figura 2.5 Ícono de la aplicación Signal.....	35
Figura 2.6 Visualización del tipo de cobertura y Servicio en el Barrio Atahualpa.....	36
Figura 2.7 Verificación de pruebas de velocidad en la zona que se encuentra el usuario .....	37
Figura 2.8 Visualización de una prueba de velocidad, tanto de subida y bajada en (Mbps) y la Latencia en (ms).....	37
Figura 2.9 Figura de los 3 operadores que indica la Latencia y señal en una zona del Barrio Atahualpa .....	38
Figura 2.10 Prueba de calidad de conexión en velocidad de los operadores móviles en una zona dentro del Barrio Atahualpa .....	38
Figura 3.1 Ejemplo de División de celdas .....	41
Figura 3.2 Mástil tipo H.....	42
Figura 3.3 Antena Sectorial DBXLH-6565C-VTM.....	44
Figura 3.4 Antena Sectorial DBXLH-6565C (Vista Frontal) .....	44
Figura 3.5 RRU 3004.....	46
Figura 3.6 Estación de Base Distribuida DBS3900 BBU .....	47
Figura 3.7 Arquitectura de una red DWDM .....	48
Figura 3.8 IDU RTN 905 .....	48
Figura 3.9 Topología de equipos a utilizarse .....	49
Figura 3.10 Representación territorial del Barrio Atahualpa en Google Earth.....	52
Figura 4.1 Mapa del Ecuador importado en el software ICS Telecom .....	55
Figura 4.2 Configuración de parámetros en las zonas de cobertura de las antenas sectoriales a utilizarse.....	56
Figura 4.3 Configuración de patrón de radiación horizontal y vertical, tilt y ángulo azimuth .....	57
Figura 4.4 Ubicación de las antenas sectoriales, correspondientes a sus sectores de cobertura, con una sectorización a 120°.....	58

Figura 4.5 Parámetros de cobertura en ICS Telecom, con una Sensibilidad de Recepción de -105dbm, que se detalla en la tabla 4.1 posteriormente .....	58
Figura 4.6 Elección del Modelo a utilizar, Cost-231 .....	59
Figura 4.7 Exportación de Cobertura en Google Earth.....	59
Figura 4.8 Análisis de la cobertura exportada con el perfil del Barrio Atahualpa.....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Evolución de la telefonía móvil .....	18
Tabla 2.1 Líneas activas en el Ecuador con relación a cada año .....	29
Tabla 2.2 Especificaciones y observaciones de los elementos y tecnologías que interactúan en la red.....	33
Tabla 2.3 Operadores Móviles en Ecuador .....	34
Tabla 3.1 Características del Modelo Cost 231 .....	43
Tabla 3.2 Especificaciones Generales de DBXLH-6565C-VTM .....	45
Tabla 3.3 Dimensiones de Antena DBXLH-6565C-VTM .....	45
Tabla 3.4 Especificaciones Eléctricas de Antena DBXLH-6565C-VTM.....	45
Tabla 3.5 Especificaciones Eléctricas Específicas de Antena DBXLH-6565C-VTM.....	45
Tabla 3.6 Especificaciones Mecánicas.....	46
Tabla 3.7 Detalles Generales de la RRU a utilizarse .....	46
Tabla 3.8 Especificaciones de la BBU DBS3900 .....	47
Tabla 3.9 Especificaciones generales de la IDU RTN 905.....	48
Tabla 3.10 Equipos y elementos hacia la migración y convergencia de la tecnología LTE ..	50
Tabla 3.11 Detalle de presupuesto referencial de los equipos que intervienen en el diseño de simulación de la red LTE.....	51
Tabla 3.12 Límites Geográficos del Barrio Atahualpa .....	52
Tabla 3.13 Datos de análisis de cobertura.....	52
Tabla 3.14 Tipos de Celdas móviles, radios de cobertura y aplicaciones .....	53
Tabla 3.15 Parámetros del Sector 1 de la celda LTE .....	53
Tabla 3.16 Parámetros del Sector 2 de la celda LTE .....	53
Tabla 3.17 Parámetros del Sector 3 de la celda LTE .....	54
Tabla 4.1 Relación entre potencia de recepción en dispositivos finales y la intensidad de la señal en redes 4G .....	60



## **RESUMEN**

El presente proyecto técnico, consiste en un diseño de una radiobase móvil con tecnología LTE para el barrio Atahualpa ubicado en la ciudad de Quito, previamente con un análisis e investigación del tipo de conectividad y cobertura que presentan las operadoras móviles de este tipo de servicio y se realiza un estudio de las normas técnicas a utilizarse en este proyecto.

Se iniciará con un método analítico, el cual empieza por la búsqueda demográfica adecuada para la mejor opción en ubicación de la radiobase y poder aprovechar los recursos que ofrece la tecnología móvil LTE. Dicho análisis e investigación permitirá determinar los elementos a utilizarse como el tipo de antena, equipos de telecomunicaciones, energía, etc.

Mediante un buen diseño que conlleva detallar los elementos que sean acordes por las situaciones demográficas presentadas, se procederá con un método analítico capaz de brindar conectividad y la cobertura necesaria para el barrio mencionado.

Con la utilización del software ICS Telecom, se procederá a configurar todos los detalles para que se presente los resultados esperados en dicho lugar. A su vez con la utilización de una aplicación denominada OpenSignal, permitirá detallar el tipo de tecnología que se encuentra y las zonas que están con y sin servicio de tecnología móvil.

Además, se detalla los costos de equipos a utilizarse para una futura implementación de la radiobase en el barrio.

## **ABSTRACT**

This technical project consists of a design of a mobile radio base with LTE technology for the Atahualpa neighborhood located in the city of Quito, previously with an analysis and investigation of the type of connectivity and coverage presented by mobile operators of this type of service and a study of the technical standards used in this project is carried out.

It will begin with an analytical method, which begins with the adequate demographic search for the best option in the location of the radio base and being able to take advantage of the resources offered by LTE mobile technology. Said analysis and investigation will determine the elements to be used such as the type of antenna, telecommunications equipment, energy, etc.

By means of a good design that entails detailing the elements that are consistent with the demographic situations presented, an analytical method will be able to provide connectivity and the necessary coverage for the mentioned neighborhood.

With the use of the ICS Telecom software, all the details will be configured to present the expected results in that place. In turn, with the use of an application called OpenSignal, you will be able to detail the type of technology that is found and the areas that are with and without mobile technology service.

In addition, the costs of equipment to be used for a future implementation of the radio base in the neighborhood are detailed.

## INTRODUCCIÓN

En el barrio Atahualpa perteneciente a la ciudad de Quito, algunos sectores aun presentan conectividad y cobertura de tecnología inalámbrica 3G con limitaciones como el rendimiento de datos, velocidad, consumo de energía para dispositivos móviles, etc. Con el avance de tecnología, la implementación de nuevos centros educativos, financieros, comerciales y la necesidad de los usuarios de poder navegar con una tecnología IP para satisfacer lo anteriormente expuesto como velocidad de transmisión y recepción de datos con latencias bajas y también un respaldo de conectividad inalámbrica generado por las constantes caídas y fallas que se presenta en redes alámbricas como fibra óptica y cable coaxial, nace el fin de promover el diseño de la celda LTE que sea capaz de aprovechar los recursos de una forma adecuada a lo que se refiere este tipo de tecnología para los usuarios que residen y circulan diariamente por dicha zona. Sabiendo que se presenta un continuo avance disruptivo en tecnología, se debe establecer que un barrio cuente y que esté a la par en recursos tecnológicos.

En el barrio Atahualpa de la ciudad de Quito, se ha venido presentando la falta y la ineficacia de conectividad que existen en las redes, como se ha presentado a usuarios de última milla que por lo general cuentan con servicio de internet ya sea por redes HFC, GPON, antenas, etc, en estos tiempos se ha puesto en evidencia la escasez y nulidad de ciertas redes que no han permitido navegar por un servicio contratado como se lo espera, por problemas externos a los usuarios, sino de las empresas que proveen el servicio.

Los residentes del barrio se ven obligados a tener un respaldo en la utilización de Internet, que en estos tiempos se lo considera como un servicio básico dentro del hogar, por tal razón el consumo de datos presenta una solución para la demanda de conectividad que requieren los usuarios.

Por tal razón y viendo la necesidad de conectividad, se presenta esta propuesta de diseño de una radio base LTE para un barrio específico de la ciudad, y así poder continuar con los restantes que por el momento no tienen este tipo de tecnología.

En cuanto a la novedad del diseño sería idóneo el poder delimitar a una celda LTE la cobertura necesaria requerida para este barrio, previo una investigación profunda con el tipo de equipos a utilizarse, sectores con mayor demanda, etc.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar una radio base móvil con tecnología LTE para que abastezca la cobertura y conectividad en el barrio Atahualpa en la ciudad de Quito.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar un análisis situacional de la estación base para la determinación de los elementos necesarios y sus características.
- Simular la zona de cobertura mediante ICS Telecom y Google Earth para la visibilidad del detalle geográfico se presente en el barrio sea correcto.
- Determinar las pruebas de la zona de cobertura sea la adecuada y cumpla con lo que se espera de la celda LTE para un análisis posterior de investigación.
- Analizar el costo del diseño de la red LTE en el barrio Atahualpa para su futura implementación.

# **CAPÍTULO 1**

## **MARCO TEÒRICO**

### **1.1 Evolución de las Comunicaciones Móviles**

A través del tiempo la red de telefonía móvil ha ido evolucionando, denotadas por la letra “G” que conlleva un significado de generación inalámbrica móvil considerando el cambio de naturaleza del sistema, velocidad, tecnología y frecuencia.

Las generaciones móviles presentan sus propios estándares, características y varias técnicas propias de sí mismas. (Universidad Internacional de Valencia, 2020)

#### **1.1.1 Red Móvil de Primera Generación (1G)**

Esta tecnología, utilizaba canales analógicos, por el año de 1986 la compañía de Ericsson moderniza el sistema implementando frecuencias superiores a los 900MHz, ya que el principal objetivo la utilización del sistema para mayores usuarios. Los sistemas que se implementaron fueron AMPS (Advance Mobile Phone System) y TACS (Total Access Communication System), que su fundamentación era para servicios tradicionales de voz. (Soria, 2020)

Figura 1.1 Terminal móvil de Primera Generación



Fuente: (Soria, 2020)

### **1.1.2 Red Móvil de Segunda Generación (2G)**

Este tipo de tecnología, se presenta en el mercado por la década de los años 90, los principales sistemas digitales que se presentaron fueron GSM, IS-136, iDEN e IS-95; siendo GSM el principal desarrollo en Europa ya que fue un estándar de telefonía móvil digital.

En este tipo de tecnología participaron varias compañías de telecomunicaciones, dando por resultado en el año 1992 las primeras redes GSM. (Soria, 2020)

Figura 1.2 Equipo móvil de Segunda Generación



Fuente: (Soria, 2020)

### **1.1.3 Red Móvil Generación (2.5G)**

Esta tecnología presenta una incorporación de EMS y MMS en la tecnología de segunda generación, con su principal utilidad de mensajes de texto y multimedia. Debido al avance incorporado se necesitaba de mayor velocidad de transmisión, dando paso a una actualización de redes GPRS (General Packet Radio Service), y EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), con una velocidad de 384 kb/s. (Uriarte, 2020)

### **1.1.4 Red Móvil de Tercera Generación (3G)**

Esta tecnología, aparece a inicios del siglo XXI, debido a la escasez de terminales móviles con posibilidad de conexión de acceso en Internet, teleconferencias,

televisión, descargas de información, etc, convirtiéndose poco a poco a pequeñas computadoras móviles.

Se implementó el sistema UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), propiamente que conlleva una tecnología CDMA con velocidades en transmisión de 7,2 Mb/s. (Uriarte, 2020)

Figura 1.3 Equipos de Tercera Generación



Fuente: (Uriarte, 2020)

### **1.1.5 Red Móvil Generación (3.5G)**

Esta red móvil se la puede considerar como la combinación del Acceso Descendente de Paquetes a Alta Velocidad (High-Speed Downlink Packet Access, HSDPA) con la consecución incorporada del mejor canal dedicado (Acceso Ascendente de Paquetes a Alta Velocidad, HSUPA), mediante esta combinación tecnológica se desarrolla el Acceso de Paquetes a Alta Velocidad (High-Speed Packet Access, HSPA), denominado red móvil generación 3.5G. (Ibarra, 2016)

### **1.1.6 Red Móvil de Cuarta Generación (4G)**

Esta tecnología de red móvil, básicamente se caracterizan en contener dos tecnologías en su operación, dichas tecnologías se las puede considerar como alternativas o complementarias, esto depende del operador móvil, e incluso teniendo similitudes pueden converger entre ellas.

Dichas tecnologías previamente mencionadas son: LTE Advanced y WirelessMAN-Advanced. A lo que se refiere WirelessMAN-Advanced (WiMAX) su fundamento en operación se debe a los sectores que trabajan por separado: banda ancha inalámbrica fija y telefonía celular, dando un enfoque dual. Esta tecnología es conocida también como bucle local, su funcionamiento se basa en recibir información por microondas y retransmitir mediante ondas de radio. Las ventajas de WiMAX son sus operaciones de banda ancha en lugares rurales, ya que debido al alto costo de implementación de redes de cable o fibra presenta un costo por usuario muy elevado, por la baja densidad de población existente en este tipo de zonas.

WiMAX establece el paso de banda ancha inalámbrica (BWA) con una distancia promedio de 50km, con estaciones fijas y un intervalo de distancia de 5 a 15 km para estaciones móviles. Una ventaja considerable de WiMAX es que tiene una mayor eficiencia de ancho de banda, ya que evita interferencias considerando así la diferencias con las redes Wifi de área local.

Refiriendo a LTE (Long Term Evolution), no se le considera un sucesor de UMTS, sino en cambio una actualización, con mayores velocidades de datos en uplink y downlink, en este tipo de tecnología ya se permite al usuario interactuar con aplicaciones mejoradas, ya sea a considerar en velocidad, procesamiento, etc. Su utilización es vía ondas de radio.

La interfaz radioeléctrica utilizada en LTE es OFDMA para la conexión descendente (DL) y SC-FDMA para la conexión ascendente (UL). Su eficiencia radica en que el sistema cuenta con una realimentación condicional de los canales, ya que cuenta con número de subportadoras de asignación al usuario final dependiendo la velocidad que requiere y las índoles del canal. (Vásquez, 2009)

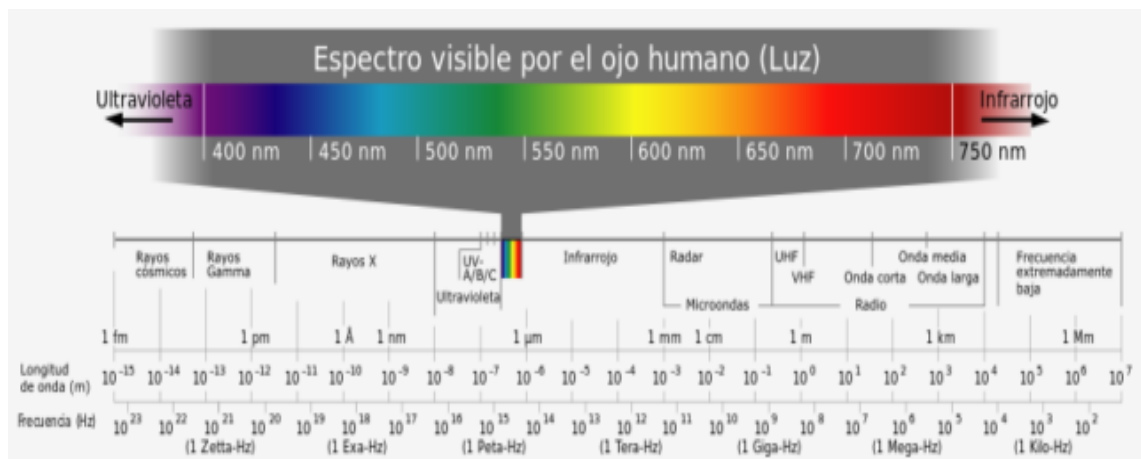


## 1.2 Bandas de Frecuencias y Espectro Electromagnético

### 1.2.1 Espectro Electromagnético

Con experimentos en la antigüedad concluyeron la posibilidad en una radiación electromagnética la obtención de varias longitudes de onda y frecuencias, que lo establecieron como el espectro electromagnético. Una diferencia a tomar en cuenta sobre el espectro visible es que es solo susceptible a la percepción del ojo humano, en cambio el espectro electromagnético conlleva a mucho más, su unidad de medida se la estable como los hertzios (Hz) equivalente a una oscilación completa de una señal en un determinado ciclo en un segundo. (López, 2019)

Figura 1.4 Espectro Electromagnético



Fuente: (López, 2019)

### 1.2.2 División del Espectro Electromagnético

LTE es una tecnología móvil que trabaja en la banda UHF (Ultra Alta Frecuencia), que en general la frecuencia de esta banda es utilizada por los operadores de telefonía móvil, debido a la ultra alta frecuencia que se utiliza en LTE, presenta una longitud de onda pequeña. (OMNITRONEC, 2021)

A continuación, se detalla de mejor manera los tipos de banda que se presenta en el espectro electromagnético con sus respectivas características, con un énfasis especial en la banda UHF, ya que como se menciona LTE trabaja en este tipo de banda.

**Banda 4. VLF:** Este tipo de banda se caracteriza por los radioenlaces a gran distancia, ya que se propaga por onda de superficie con baja atenuación. Este tipo de transmisión se considera velocidades bajas. Empleadas para la comunicación con submarinos que se encuentra cerca de la superficie, radiobalizas, señales horarias, estudios geofísicos electromagnéticos. La frecuencia de esta banda es menor de 9kHz. (Ordóñez, 2015)

**Banda 5. LF:** Este tipo de banda se enfoca en poca atenuación, largas distancias, el poder penetrar en el agua, propagación por onda de superficie, servicio de radiodifusión sonora AM, servicios de radioaficionados y técnicas de etiquetado RFID; igualmente que VLF ayuda a la navegación marítima y aeronáutica. El rango de frecuencias de banda es de 148,5 y 283,5 kHz. (Ordóñez, 2015)

**Banda 6. MF:** En este tipo de banda su manera de propagación es producida por onda de superficie o por onda ionosférica, al igual que las anteriores bandas utilizada para los sistemas marítimos y aeronáuticos, servicios de radiodifusión sonora en amplitud modulada AM. Este tipo de banda trabaja en el rango de 526,5 y 1606,5 kHz. (Ordóñez, 2015)

**Banda 7. HF:** Este tipo de banda tiene la particularidad de su alcance depende de varios factores, como por ejemplo el horario y la estación que presenta el año. Se establecen 3 tipos de rangos establecidos: Bandas altas o diurnas, las cuales van desde los 14 y 30 MHz; Bandas bajas o nocturnas, que están en el rango de 3 y 10 MHz; y las Bandas intermedias entre 10 y 14 MHz. Este tipo de banda su utilización se fundamenta para el servicio de radioaficionados, entre otros usos es empleada también para etiquetado RFID. (Ordóñez, 2015)

**Banda 8. VHF:** La banda VHF es muy empleada para comunicaciones terrenales de corta distancia, como utilización se tiene a la radiodifusión sonora FM, que su rango de operación está entre 88 y 108 MHz, servicios de sistemas de ayuda al aterrizaje, sistemas controlados para navegación aéreo, comunicación y control entre buques marítimos, televisión analógica, servicio de radioaficionados. (Ordóñez, 2015)

**Banda 9. UHF:** Este tipo de banda emplea propagación por onda con línea de vista, idealmente para servicios móviles, por tal razón es un tipo de banda muy utilizada en servicios radioeléctricos de voz bidireccionales, servicios de televisión digital terrestre (TDT), como se menciona servicios móviles (GSM, UMTS, LTE, etc) y también su utilización en las tecnologías de redes inalámbricas tales como WiFi y Bluetooth. (Ordóñez, 2015)

**Banda 10. SHF:** El tipo de propagación de esta banda es vía onda de trayectoria óptica directa, su utilización son servicios tales como radares, enlaces uplink y downlink de satélites, radioenlaces del servicio fijo y por último también utilizado como una variación de tecnologías inalámbricas como WiFi 802.11n. (Ordóñez, 2015)

**Banda 11. EHF:** Este tipo de banda es muy común utilizar en radioastronomía y comunicaciones con satélites, debido a la gran afectación que se tiene por la atenuación atmosférica y la forma que se presenta el clima, utilizada para radiocomunicaciones de corto alcance, y está empleada hasta 275GHz. (Ordóñez, 2015)

Tabla 1.1 Evolución de la telefonía móvil

	1G	2G	3G	4G
Transmisión	Análoga	Digital	Digital	Digital
Estándar	AMPS-TACS	GSM	CDMA 2000- WCDMA	LTE
Técnica Acceso al Medio	FDMA	CDMA- TDMA	CDMA	CDMA
Tráfico	Voz	Voz / Datos	Voz / Datos	Voz / Datos

Tipo de Conmutación	Circuitos	Circuitos	Paquetes	Paquetes
Cobertura	Nacional /Internacional	Nacional/ Internacional	Nacional / Internacional	Nacional / Internacional

Fuente: (Victoria Guachán- Pablo Cajías , 2014)

### 1.3 Introducción a LTE

Una tecnología inalámbrica móvil capaz de transmitir datos a altas velocidades en dispositivos finales en una red celular. Con estudios se ha demostrado velocidades de transferencias alcanzarían hasta 300 Mbps, considerando una alta velocidad tanto en downlink como en uplink. A referirse a LTE, se dice que es una evolución de la red de tercera generación, con en el fin de saldar las necesidades más altas de los usuarios en lo primordial a velocidad se refiere. Una característica importante cabe mencionar de la tecnología LTE es la utilización del espectro radioeléctrico más flexible con una mayor compatibilidad. (Equipo de Expertos de Universidad Internacional de Valencia, 2017)

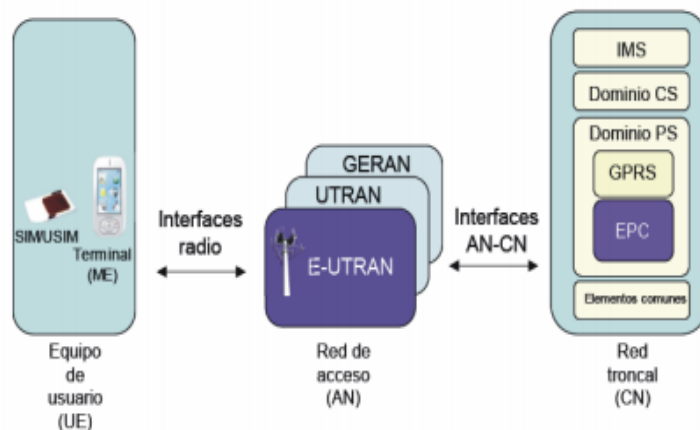
#### 1.3.1 Diferencias entre LTE, LTE – Advanced y 4G

La evolución de esta tecnología a través del tiempo surge por el incremento de velocidad a la propagación de datos que usuarios demandan de conexión. LTE-Advanced se lo puede equiparar a 4G debido a que las tasas de velocidad se aproximan a 1Gbps, es decir que la principal diferencia radicaría en velocidad de un tipo a otra ya que LTE su transferencia de datos ronda hasta los 300 Mbps, esto en la práctica se puede generar con un ejemplo práctico de dos dispositivos cada uno con la tecnologías mencionadas, que al descargar un archivo aproximado de 1GB, un dispositivo LTE lo lograría en alrededor de medio minuto, en cambio LTE-Advanced el tiempo es reducido y ronda entre 6 o 7 segundos, cabe aclarar que esto presentaría una diferencia considerable para usuarios que utilizan a diario actividades en una red móvil. (Equipo de Expertos de Universidad Internacional de Valencia, 2017)

### 1.3.2 Arquitectura de los sistemas 3GPP

El sistema de tecnología móvil precisados por la 3GPP, adoptan un detalle del equipo del terminal de usuario y del esquema de red, dividida de una manera racional determinada por la infraestructura de red troncal (Core Network, CN) y la red acceso (Access Network, AN).

Figura 1.5 Arquitectura de alto nivel de los sistemas 3GPP (GSM, UMTS y LTE)



Fuente: (Jimenez, 2013)

En una arquitectura móvil de 3GPP, está comprendido por dos elementos: el terminal móvil (ME, Mobile Equipment) y la tarjeta UICC (Universal Integrated Circuit Card) o también denominada tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) a lo que se refiere en el procedimiento de GSM, y denominada USIM (Universal SIM), los cuales están en los sistemas de red UMTS y LTE, con un papel indispensable en la red, porque es la encargada de almacenar la información y el sustento de todos los procedimientos de suscripción de los usuarios con sus UE en la red móvil. (Jimenez, 2013)

La especificación técnica de LTE son muy estables, ya que con el tiempo han ido mejorando posteriormente a las versiones de 3GPP, con varios objetivos como lo que es asegurar la competitividad del sistema 3G para las comunicaciones móviles en el futuro; demanda de usuarios finales, ya que requieren el aumento de velocidades de transmisión de información con mejora de calidad de servicio; un procedimiento

óptimo de Conmutividad de Paquetes; reducción de costos; menor complejidad en operación de campo.

LTE, en 3GPP es la parte de acceso del (EPS) Evolved Packet System, que utiliza la red de acceso una alta eficiencia espectral, velocidades altas, el enlace de bajada y de subida sea el menor posible y la flexibilidad que existe al tipo de frecuencia y ancho de banda de operación. (3GPP A GLOBAL INITIATIVE, 2021)

Refiriendo en la red de acceso, 3GPP ha detallado tres ejemplares de redes: GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network); UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network); y la E-UTRAN (Evolved UTRAN). Cabe indicar que las tecnologías de acceso GERAN y UTRAN corresponden a la tecnología 3G, en cambio E-UTRAN corresponde a la red de acceso de la tecnología LTE. En lo detallado anteriormente en este informe, una red de acceso le corresponde su particular interfaz de radio en las comunicaciones. Primeramente, GERAN o simplemente denominada GSM, adopta un camino en base a TDMA (Time Division Multiple Access); UTRAN, adopta el tipo de tecnología conocido como WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), en cambio E-UTRAN utiliza el tipo de tecnología OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access). A lo que se refiere el acoplamiento en las redes de acceso y la red troncal es realizada por vía de las interfaces AN-CN. (Jimenez, 2013)

Con respecto a la red troncal, es dividido de manera racional en: dominio de circuitos (CS, Circuit Switched); en dominio de paquetes (Packet Switched, PS, Domain); y, en el subsistema IP Multimedia (IP Multimedia Subsystem, IMS). Se detalla que el dominio CS corresponde a los sistemas de la red troncal correspondientes a los servicios de telecomunicaciones basados en la conmutividad de circuitos, que se explicarían como a los servicios que se destinan los recursos de manera dedicada en el instante de establecer la conexión, hasta finalizar el servicio, ya sea de voz o teleconferencia en las redes UMTS. En cambio, al dominio PS se basa sobre el diseño de E-UTRAN, basado en las funcionalidades de la red troncal de los servicios en telecomunicaciones de conmutividad de paquetes, que se refiere a que la inquisición de los usuarios se organiza en paquetes de datos transmitidos por los distintos elementos y enlaces que están en red. El dominio PS tiene dos implementaciones:

GPRS (General Packet Radio Service) y EPC, detallando que GPRS se elaboró en sus inicios en el contorno de redes GSM y en la actualidad también constituyen en redes UMTS. En cambio, EPC, se la considera como la nueva determinación del dominio PS, ya que fue elaborada en el contorno del sistema LTE. A EPC se lo considera como el accionamiento evolucionado de GPRS perfeccionada en el servicio de conexión IP a los terminales de los usuarios mediante E-UTRAN. Cabe indicar que el dominio EPC sostiene el acceso al servicio de conectividad IP desde diferentes redes de acceso 3GPP (UTRAN y GERAN), y también de redes no 3GPP como la son: (redes CDMA2000 Code Division Multiple Access), y Mobile WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). (Jimenez, 2013)

En la red troncal que soporta funciones agrupadas a los distintos dominios, en este caso se menciona a la base de datos que incluye la información con respecto a los usuarios del sistema móvil, denominado HSS (Home Subscriber Server) que soporta la intervención de los dominios CS, PS e IMS (IP Multimedia Subsystem). Se dice que en el subsistema IMS asocia los elementos provisionados de servicios IP (Internet Protocol) multimedia centrados en el protocolo denominado SIP (Session Initiation Protocol), el susbsistema IMS relaciona los servicios multimedia utilizando el mecanismo en el traslado de los servicios en la transferencia de datos que proporcionado del dominio PS correspondientes al terminal del usuario y a los terminales del subsistema IMS o también conocidos como redes externas que se intercomunican entre sí mediante el servicio de conexión IP. Debido a tal aclaración el subsistema IMS compone el plano del control a los servicios mencionados y separa las funciones consocionadas en el transporte de la información y las funciones autónomas en la capa del control en servicios, cuya desgloción de funciones es adoptada por LTE. (Jimenez, 2013)

### **1.3.3 Especificaciones de LTE**

LTE es una tecnología con prospecto a una evolución de las redes móviles hacia el 4G, es decir no es un estándar definido sino un tipo de tecnología que integra a las tecnologías de GSM, GPRS, UMTS y HSPA, en cuanto se refiere a rendimiento, un proveimiento de un alza tasa de tráfico y disminución de latencia. Mediante la interfaz

y la arquitectura de radio del entorno LTE prestan los servicios a través de conmutación de paquetes IP, la cual conforma el CN y E-UTRAN.

La posibilidad en los procedimientos de transmisión a doble cara, que son, FDD y TDD es flexible en el uso del espectro radioeléctrico. También contiene tecnologías de acceso de radio OFDMA en lo que se refiere al DL (Downlink) y SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) referido al UL (Up link) y por último la tecnología que se beneficia de la multiplicidad espacial MIMO (Multiple Input Multiple Output). El rango de operación de frecuencias que trabaja LTE está comprendido entre 800MHz y 3.5GHz. Los anchos de bandas que operan LTE, son 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz. El radio de la celda LTE comprende aproximadamente 5Km, con la característica de que pueden contar con operación mayores a 200 usuarios en 5MHz de ancho de banda y mayores a 400 usuarios en un ancho de banda con 20MHz. (Jimenez, 2013)

El Evolved Packet System (EPS), una especificación de LTE es que los servicios de tiempo real y transmisión de datos se basan puramente en el protocolo IP, detallándose que la dirección IP asignada al móvil se presenta cuando el dispositivo se encuentra encendido, y, cuando se apaga dicho dispositivo la dirección IP es liberada. (3GPP A GLOBAL INITIATIVE, 2021)

#### **1.3.4 Arquitectura del sistema LTE**

A lo referido en la arquitectura de LTE, se encuentra como puntos importantes: E-UTRAN conocido como la capa de radio; y el EPC, que es el core de datos o Evolved Pack Core, ahora la combinación de estas arquitecturas comprendidas entre E-UTRAN y el EPC, forman el EPS (Evolved Packet System). (Jaramillo, 2015)

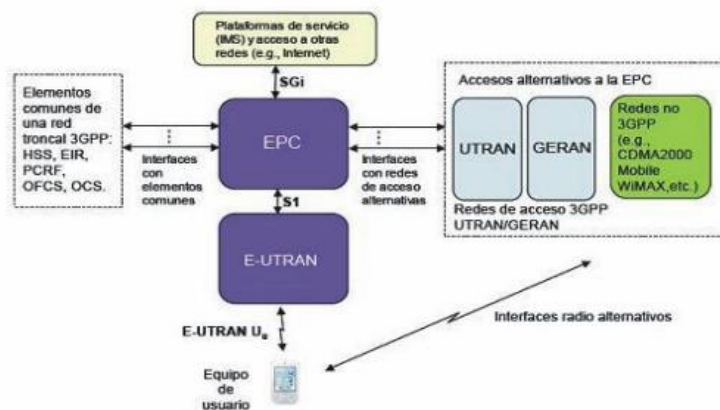
Las siglas EPS es la denominación formal de todas las especificaciones de la arquitectura del sistema LTE, los elementos del sistema LTE están comprendidos por la red de acceso E-UTRAN, el dominio de paquetes EPC de la red troncal y la variación en el subsistema IMS. Los elementos mencionados se elaboraron para el soporte de la



variedad en servicios en telecomunicaciones, como ya se había dicho mediante la técnica de conmutación de paquetes.

Los servicios de transmisión de paquetes IP comprendidos de los equipos finales de los usuarios y de las redes de paquetes externas, por ejemplo, plataformas IMS, Internet, etc, los encargados de proporcionan tales servicios se comprenden de la red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC.

Figura 1.6 Arquitectura de los sistemas LTE



Fuente: (Jimenez, 2013)

En la figura 1.6 se presentan las primordiales interfaces entre E-UTRAN y EPC. Empezando con la interfaz a través de E-UTRAN y EPC, la cual se la designa S1, con la finalidad de proveer todos los mecanismos indispensables para la administración del acceso de los equipos móviles mediante E-UTRAN. La interfaz desde los terminales hacia E-UTRAN es denominado como E-UTRAN U; la interfaz que va desde la EPC hacia las plataformas de los servicios como IMS y la interconexión a redes con paquetes externas IP, es denominada SGi, la cual es semejante a la interfaz Gi determinada en las redes GPRS/UMTS, ya que conforma el punto de entrada y salida al servicio de conexión IP en la red LTE, cabe indicar que los terminales que constituyen o se encuentran en la red LTE se aceptan o son visibles con las redes externas mediante esta interfaz a través de la dirección IP.

LTE también permite dar acceso a los servicios mediante UTRAN, GERAN, CDMA2000, Mobile WiMAX, redes 802.11, etc, esta conectividad de las redes de acceso alternativas es soportada por un grupo de interfaces de la EPC.

Cabe mencionar que la conectividad de los distintos equipos físicos ubicados en la red troncal EPC y en la red de acceso E-UTRAN, consta de tecnologías de red IP, por tal razón en una red LTE también operan equipos de red que son routers, servidores DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), servidores DNS (Domain Name Server), etc (Jimenez, 2013)

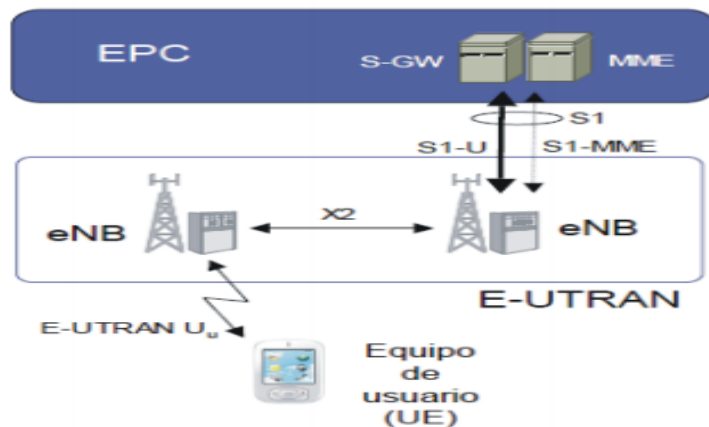
La arquitectura de una red móvil LTE basada en 3GPP, mencionada anteriormente, está conformada por la combinación de arquitectura del E-UTRAN con el EPC, comprendido con diversos elementos de red en cada capa. El E-UTRAN comprendido únicamente por un tipo de elemento en la red que es la radiobase, en LTE denominado como (eNodeB), diferenciándose de las arquitecturas de tecnologías móviles 2G y 3G, que la capa de acceso de radio E-UTRAN no contiene el tipo de elemento controlador de la red como RNC o BSC, es decir solamente es conformado por una red de radiobases eNodeBs. (Jaramillo, 2015)

El EPC, tiene 3 elementos comprendidos: el (MME) Mobility Management Entity; (S-GW) Serving Gateway; y (P-GW) Packet Data Network Gateway. En resumen, de su funcionamiento el MME es el encargado en el plano de control en la red, en cambio el S-GW y el P-GW trabajan con el plano de información del usuario. (Jaramillo, 2015)

### **1.3.5 Red de acceso evolucionada (E-UTRAN)**

La arquitectura de la red de acceso está compuesta de evolved Node B (eNB), la cual comprende la estación base E-UTRAN, es decir que contiene todos los recursos y funciones en la red de acceso, distintamente a las redes de acceso de GSM y UMTS que también componen equipos controladores y estaciones base.

Figura 1.7 Red de acceso E-UTRAN



Fuente: (Jimenez, 2013)

En la figura 1.7 se detalla la red de acceso E-UTRAN, compuesta por los eNBs, los cuales proporcionan la interconexión de los equipos terminales y la red troncal EPC, la conectividad entre los eNBs con el resto de equipos en el sistema, vía tres interfaces, las cuales son: E-UTRAN Uu, S1 y X2. La interfaz E-UTRAN Uu, conocida como LTE Uu o la interfaz radio de LTE, es la encargada en la transmisión tanto en downlink como en uplink mediante el canal radio entre los terminales de usuario y el eNB con funcionalidades del control y operación de datos es implementado en el eNB. La siguiente interfaz, denominada S1, la cual comunica el eNB con la red troncal EPC, presentando dos subdivisiones de interfaces: S1-MME, la cual sustenta el plano de control y S1-U sustenta el soporte del plano de usuario. La separación dada es muy importante, ya que permite la conexión del eNB con nodos distintos en la red troncal de la EPC, la cual consta de una MME (Mobility Management Entity) encargada de administrar funciones en el plano de control.

Ahora, se indica una interfaz denominada S1-U, la cual es la encargada de que el eNB sea comunicado con otra entidad de red delegada del procedimiento en el plano de usuario, conocido como S-GW (Serving Gateway). Cabe indicar que esta separación que presenta la red LTE, permite dimensionar independientemente al plano de control y el plano de usuario, ya que cuentan con recursos de transmisión indispensables del soporte en la señalización del sistema y la transmisión de tráfico en equipos de usuario.

Los eNBs, se conectan mediante la interfaz denominada X2, la cual permite el intercambio de mensajes de señalización con mayor eficiencia en su gestión para la utilización de recursos de radio, es importante ya que reduce interferencias entre eNBs, y también ayuda al proceso de handover, que quiere decir cuando usuario se desplaza de un eNB a otro.

Al servicio encargado del traspaso de paquetes IP del eNB y el equipo terminal final, es conocido un servicio portante radio RB (Radio Bearer). Es importante recalcar que el eNB almacena y gestiona la información de estado, servicios portadores activos, informes de seguridad, facultades de terminales, etc de cada equipo del usuario que se encuentra dentro de la red LTE, por tal razón se dice que la operatividad clave de un eNB radica en la gestión de los recursos radio, control de movilidad debido al handover, determinación dinámica en los recursos radio de enlaces ascendentes y descendentes, más conocido como funciones scheduling, control de interferencias de las cercanas estaciones base, etc.

Un eNB puede estar conectado con acceso en simultáneo a múltiples MMEs de la red troncal, conocido como su pool área, la importancia radica en elegir de qué entidad MME va gestionar el acceso de cada terminal de usuario. (Jimenez, 2013)

## **CAPÍTULO 2**

### **FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA UNA FUTURA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED LTE**

En la actualidad, la demanda que exigen los usuarios en el área de telecomunicaciones cada vez aumenta, ahora no solo un dispositivo móvil se puede conectar a la red, sino varias cosas que no se creía con el tiempo se conectarán. (Gracia, 2021)

En nuestro país, para que una tecnología sea implementada, existen varios puntos a tomar en cuenta como aspectos regulatorios y tecnológicos, y como se menciona un buen análisis de cuáles son los requerimientos de los usuarios de hoy en día.

En el Ecuador, el sector tecnológico, si bien para ciertas áreas se lo puede considerar bueno, en otras está en un bajo desarrollo, es decir el gobierno y empresas privadas deben considerar como una prioridad para el avance tecnológico, que a su vez significaría ganancias de parte y parte. (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2013)

Los entes regulatorios del país son: MINTEL y la ARCOTEL, los cuales se encargan receptor y elaborar los documentos relacionados de telecomunicaciones, para posterior a ello la aprobación de los mismos.

#### **2.1 Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL)**

El MINTEL es el organismo estatal que se encarga de gravitar la transformación de progreso en los servicios que brindan las instituciones del sector que comprende las telecomunicaciones, administrar las acciones mediante políticas y proyectos promover la Sociedad de la Información, Conocimiento y las Tecnologías de la Información y Comunicación. (telecomunicaciones.gob.ec, 2020)

## 2.2 Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL)

En el 2015 se creó la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones ARCOTEL, el cual es el organismo director en los aspectos de telecomunicaciones, sustituyendo en las funciones que realizaban la Supertel, Senatel y Conatel. (telecomunicaciones.gob.ec, 2020)

## 2.3 Telefonía Móvil en Ecuador

Según el último registro en el mes de julio de 2017, las empresas de Tecnología Móvil, las cuales en nuestro país son: Claro, Movistar/Tuenti y CNT, informaron a la Agencia de Control y Regulación de las Telecomunicaciones, ARCOTEL, 15'055.240 líneas operativas activas en el país. (arcotel.gob.ec, 2017)

Tabla 2.1 Líneas activas en el Ecuador con relación a cada año

Año	Cantidad de Líneas Activas
2008	11.692.248
2009	13.454.600
2010	15.118.831
2011	15.874.558
2012	17.086.863
2013	17.541.754
2014	17.604.557
2015	13.859.020
2016	14.848.134
2017 Julio	15.055.240

Fuente: (arcotel.gob.ec, 2017)

### 2.3.1 CONECEL S.A

El Consorcio Ecuatoriano de Telecomunicaciones (CONECEL) inició su operación en el año 1993 en nuestro país, pasando en el año 2000 a llegar a ser entidad de América Móvil.

Claro es una compañía de información, comunicación y entretenimiento con servicio móvil al 96% del Ecuador poblado con productos y servicios con avanzada y alta tecnología, Claro es la primera operadora privada en ofrecer a los usuarios tecnología

digital, GSM, 3G, HSPA +, y 4G LTE, recientemente 4.5G en todo el territorio ecuatoriano.

CLARO es una empresa que genera grandes cantidades de empleo en el Ecuador con un aproximado de 3.000 empleos con contratos directos y 300.000 empleos con contratos indirectos; también contiene más de 5.500 locales de venta, superior de 80 Centros de Atención a Clientes y medios de atención 24/7 hacia sus usuarios. (CLARO, 2020)

### **2.3.2 OTECEL S.A**

Movistar, (legalmente Otecel S.A.) es una entidad que provee servicios de telefonía móvil en nuestro país, subsidiaria de Telefónica S.A.

Comenzó las operaciones en abril de 2005 aun cuando Telefónica había adoptado desde el 14 de octubre de 2004 con la adopción del 100% en acciones de OTECEL S.A., concesionaria del servicio móvil desde el año de 1993, cuando esta entidad se denominaba Bellsouth. Movista, es considerada como la segunda mayor operadora de telefonía móvil en nuestro país, superando a más de 3,8 millones de usuarios, con 90 locales de atención al cliente y con redes AMPS, TDMA, CDMA, GSM, UMTS y LTE.

### **2.3.3 CNT E.P**

Alegro (Nombre comercial de TELECSA) se inició en marzo del año 2003, operando en diciembre de la finalización de dicho año. En octubre del 2004, la empresa era propiedad del 50% de CNT y Pacifictel, posterior de receptar la autorización del Fondo de Solidaridad, Pacifictel desconcreta su intervención en la operadora móvil, permaneciendo CNT como propietaria única de la empresa.

Figura 2.1 Representación porcentual de usuarios activos en cada operador móvil



Fuente: (Telecomunicaciones, 2018)

## 2.4 Estudio de factibilidad técnica de implementación

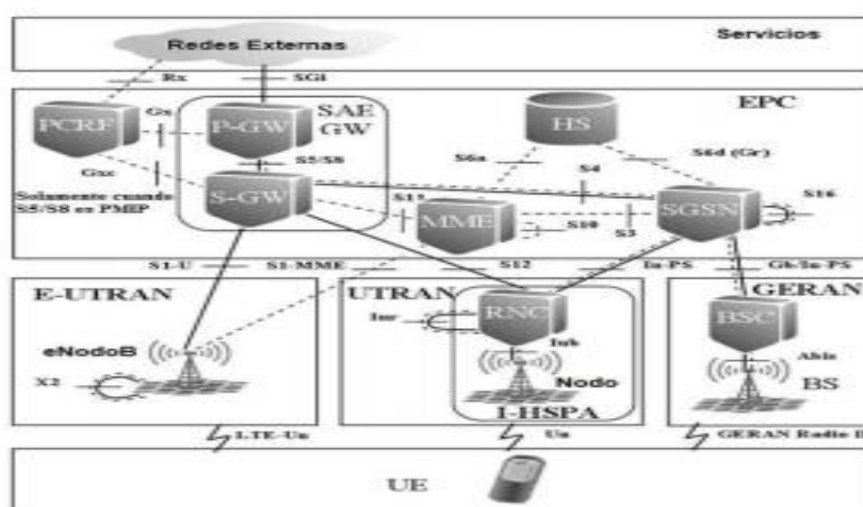
Actualmente, el barrio Atahualpa consta con el servicio de las 3 operadoras móviles, que son Claro, CNT, Movistar/Tuenti, cumpliendo con todas las normativas y obligaciones establecidas por la Arcotel que corresponde al servicio de las Telecomunicaciones que brindan cobertura 2G, 3G y 4G en ciertas zonas.

### 2.4.1 Factibilidad de implementación de 4G

La figura 2.2 indica la arquitectura y los elementos que pertenecen en las redes de acceso 3GPP, concretadas en E-UTRAN, UTRAN y GERAN, las cuales están interconectadas al núcleo de red EPC. Se considera que E-UTRAN, UTRAN y GERAN son proveedores de servicios con alto grado de similitud en su conectividad, concluyendo que su principal diferencia son las tasas de transmisión que determina el rendimiento de la red.



Figura 2.2 Interacción y convergencia de 3G-4G



Fuente: (Orozco N, 2015)

El EPC necesita interfaces que le accedan la ejecución de un intercambio en la información existente en las redes UTRAN y GERAN. El eNodeB que se indica en la figura, el cual en el diseño de E-UTRAN su función principal es optimizar los requerimientos de OFDMA, un pilar muy importante a considerar en el diseño de la red que las redes de acceso consignan converger entre sí. Una optimización de las redes para su operación normal, indica que la red pueda controlar los eventos de handover los cuales proveen movilidad y funcionalidades los cuales permiten la comunicación con una eficiencia mayor, es decir sin interrupciones en el servicio. En conclusión, el eNodeB debe ser capaz de organizar con las células de UTRAN y GERAN las señales del usuario.

Con el fin de las redes E-UTRAN, UTRAN y GERAN trabajen de forma conjunta es necesario las configuraciones y actualizaciones de los elementos que conforman la red, a continuación, se describe en una tabla los elementos que componen. (Orozco N, 2015)

Tabla 2.2 Especificaciones y observaciones de los elementos y tecnologías que interactúan en la red

Elemento de la Red	Especificaciones
UE	Soporta las tecnologías de radio, las intervenciones de movilidad y las bandas de frecuencias entre dichas tecnologías.
E-UTRAN	Aquí el handover tiene un propósito importante, las celdas adyacentes de las restantes redes deben estar configuradas y actualizadas en cada eNodeB.
UTRAN	Desempeña la comprobación y funcionalidades de análisis al igual que la red E-UTRAN y además el transporte de información de handover.
GERAN	Interconectada al SGSN en la comprobación y usuario, es decir es la encargada de la convergencia en operación entre redes.
EPC	Pueden funcionar juntas las redes de acceso, esto quiere decir que la EPC tiene la función principal de la arquitectura de la red.
MME	Soporta la movilidad entre redes con un requerimiento previo de señalización con el SGSN.
S-GW	Se le considera como el anclaje en movilización de los sistemas de acceso 3GPP.
SGSN	Su función radica en controlar los nodos en el núcleo de la red en E-UTRAN, UTRAN y GERAN, y a su vez requiere la actualización de software que soporta el cambio de SGW.

Fuente: (Orozco N, 2015)

## 2.4.2 Panorama de Mercado de Ecuador

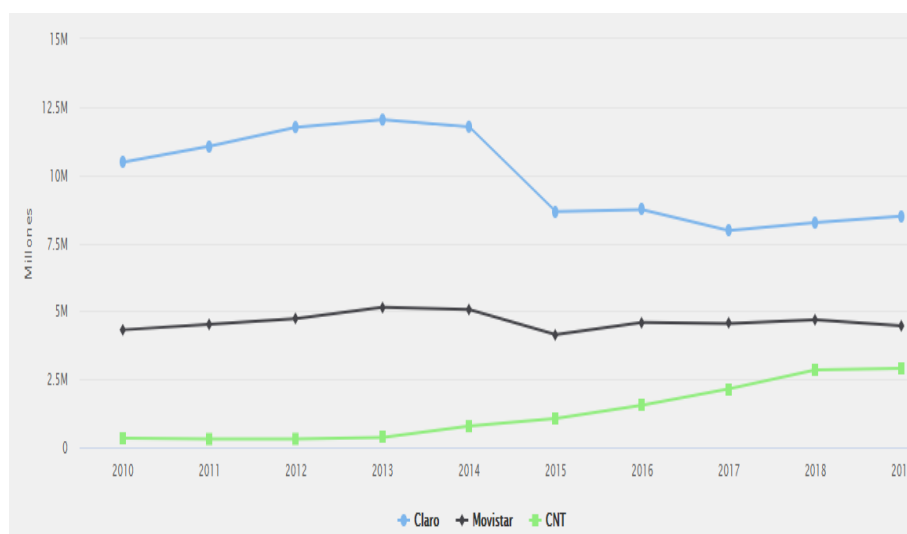
En nuestro país, en el año 2019 lanzó el plan Ecuador Digital con el fin de progresar en cinco fuentes que son la interconexión, eficiencia, ciberseguridad, innovación y competitividad. El objetivo es que el 98% de población del país tenga acceso a los servicios de telecomunicaciones para el 2021, con varias normativas de permisos de espectro y la implementación de puntos de Wi-Fi con gratuidad.

Tabla 2.3 Operadores Móviles en Ecuador

Operadora	Propietario	Servicios	Tecnología y Espectro	Porcentaje de Mercado
Claro	América Móvil	Telefonía y Banda Ancha Móvil	850MHz-1900MHz GSM; 850MHz-1900MHz UMTS/HSPA; 1700-2100MHz LTE	53,6
CNT	Estado de Ecuador	Telefonía y Banda Ancha Móvil	1900MHz GSM; 1900MHz UMTS/HSPA; 1700-2100MHz LTE	28,1
Movistar	Telefónica	Telefonía y Banda Ancha Móvil	850MHz-1900MHz GSM; 850MHz-1900MHz UMTS/HSPA; 1900MHz LTE	18,3

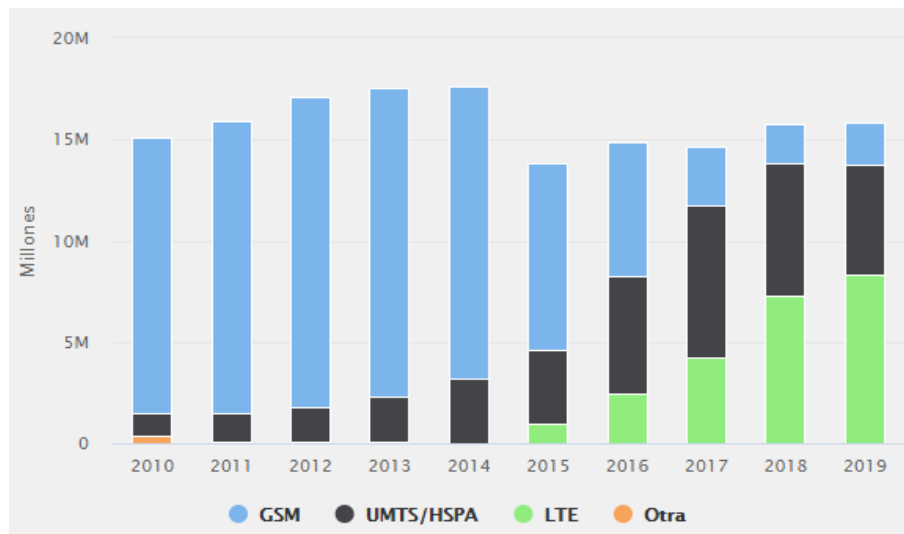
Fuente: (ARCOTEL, 2020)

Figura 2.3 Líneas Móviles por operador en Ecuador



Fuente: (ARCOTEL, 2020)

Figura 2.4 Líneas Móviles en Ecuador dependiente de la tecnología



Fuente: (ARCOTEL, 2020)

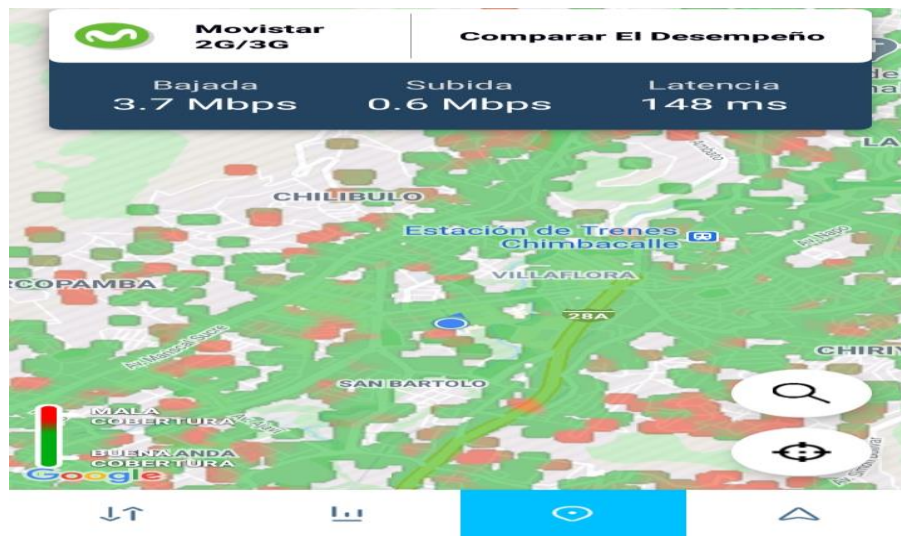
## 2.5 Análisis de cobertura y el servicio en el barrio Atahualpa

Para el análisis de cobertura y ver como se encuentra el servicio en la zona que se diseñará el proyecto se utiliza una aplicación de Play Store llamada OpenSignal. La cual es una aplicación muy útil ya que combina las mediciones del mundo real con un análisis científico para proporcionar información independiente sobre la conectividad móvil en el mundo basándose en mediciones de la experiencia real del usuario. Esta aplicación provee un análisis que revela la realidad competitiva a los operadores móviles para dirigir decisiones, actualizaciones, migraciones e inversiones para lograr un máximo impacto en el mercado de cada país y los operadores y usuarios puedan detallar su tipo de conexión a nivel local, regional y nacional.

Figura 2.5 Ícono de la aplicación Signal



Figura 2.6 Visualización del tipo de cobertura y Servicio en el Barrio Atahualpa



La figura 2.6, en un punto de la celda dentro de la cobertura que se desea brindar el servicio con latitud Sur -0.24928 y longitud Occidental -78,53043, se indica una representación visual cargado el mapa en la aplicación, el cual, mediante la activación del servicio de GPS y datos móviles en un dispositivo final como un smartphone, Tablet, etc, se puede identificar como está proporcionándose la calidad de la señal.

En la parte inferior izquierda de la aplicación, se puede observar una franja la cual ayuda al usuario a determinar e interpretar una mala cobertura o una buena cobertura, aclarando que cuando se representa las zonas en color rojo, esto indica que existe una mala calidad en la señal y cuando indica la zona de color verde, paulatinamente mientras más verde indica una excelente calidad en la señal proporcionada a dicha zona.

Figura 2.7 Verificación de pruebas de velocidad en la zona que se encuentra el usuario

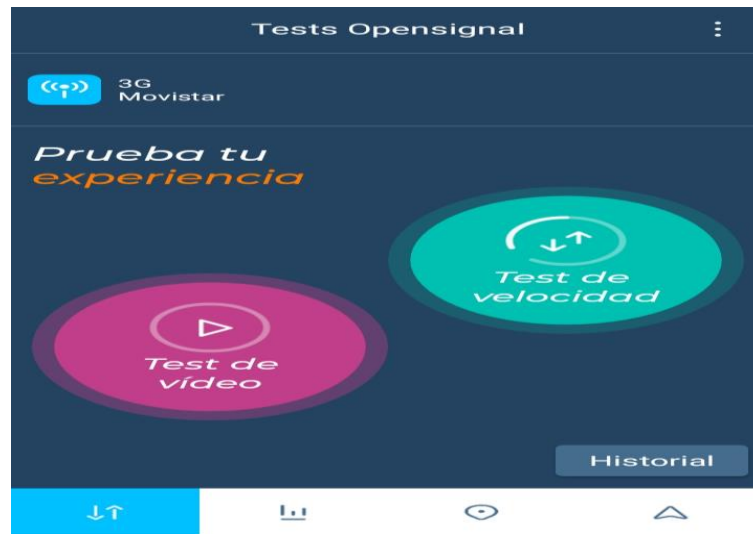


Figura 2.8 Visualización de una prueba de velocidad, tanto de subida y bajada en (Mbps) y la Latencia en (ms)



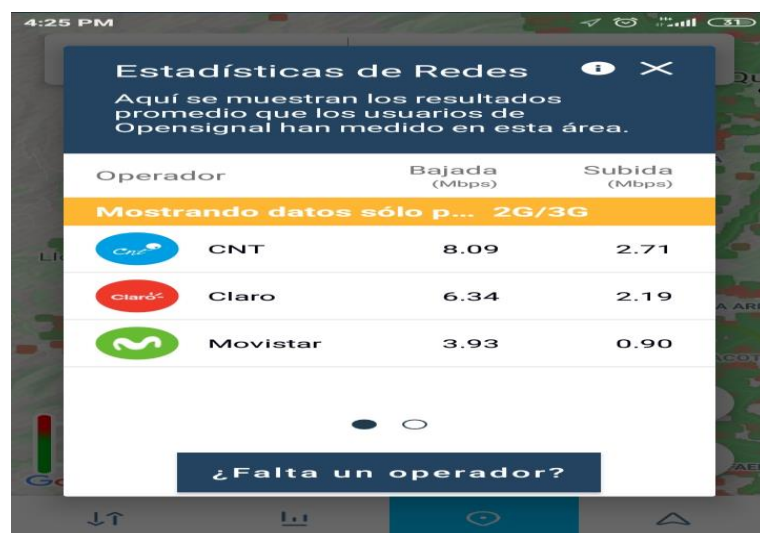
Como se puede apreciar en la figura 2.8, la velocidad de bajada muestra un valor de 3.10Mbps y la velocidad de subida 1.21Mbps y una latencia de 3043ms. Para la necesidad de conexión en estos tiempos de actualidad se puede considerar una velocidad de conexión relativamente baja, de igual manera el tiempo de respuesta que es la latencia presenta un valor muy alto, es decir está indicando una demora considerable de propagación y transmisión de los paquetes en la red celular, se aclara que un valor recomendado de latencia para una tecnología 4G sería idealmente de 60ms.

Figura 2.9 Figura de los 3 operadores que indica la Latencia y señal en una zona del Barrio Atahualpa



Lo que se puede apreciar en la figura 2.9, tomado desde otro punto sectorial de la red que se desea brindar el servicio de LTE, indica la latencia de los 3 operadores existentes en esta zona, de igual manera se puede apreciar valores de latencias relativamente altos para el tipo de demanda y conectividad necesaria de hoy en día.

Figura 2.10 Prueba de calidad de conexión en velocidad de los operadores móviles en una zona dentro del Barrio Atahualpa



Como se puede apreciar con la ayuda de la aplicación OpenSignal, es notorio que la zona actual del barrio Atahualpa hay ciertos puntos que no tiene cobertura, es decir áreas que no tienen servicio. También se aprecia que en ciertas zonas hay la cobertura

de señal 2G/3G y se muestra la velocidad de descarga y la de carga que en tiempos donde se necesita mayor velocidad de conexión no sería suficiente para satisfacción de los usuarios con sus equipos. Se visualiza también una latencia muy alta en el tipo de tecnología que se presenta en la red de dicho barrio. Los datos indicados con esta aplicación son muy considerables y serían una buena opción para un análisis, en las pruebas realizadas se utilizó un smartphone presentándose los datos de los 3 operadores que brindan el servicio de tecnología móvil en el barrio.



## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO DE LA RADIOBASE MÓVIL CON TECNOLOGÍA LTE**

El presente diseño conlleva un análisis adecuado para la red LTE para que pueda cumplir con lo esperado en cobertura y el servicio a brindar en la zona, toma en cuenta varios puntos importantes, los mismos que se indica a continuación: geografía del lugar a brindar la cobertura, modelo de propagación, geometría de la celda LTE, tipo de estación base, etc.

#### **3.1 Parámetros Técnicos**

Primeramente, se procede a realizar un estudio técnico del sitio escogido. El edificio consta de 6 pisos, localizado en Google Earth con  $0^{\circ}14'58.45''$  latitud Sur y  $78^{\circ}31'49.56''$  longitud Occidental, construido por encima de 2825m sobre el nivel del mar, el área está comprendido por 12m de ancho y 15m de largo dando igual a un área total 180 metros cuadrados, cuenta con una fuente de energía pública de 110v/220v AC. Para el sistema de seguridad se necesitará añadir en el lugar cerca eléctrica, rectificadores de tensión con el objetivo de obtención de -48Vdc para los equipos de comunicaciones necesarios que detallarán más adelante, también se necesita elementos de protección como breakers, racks y un pararrayo.

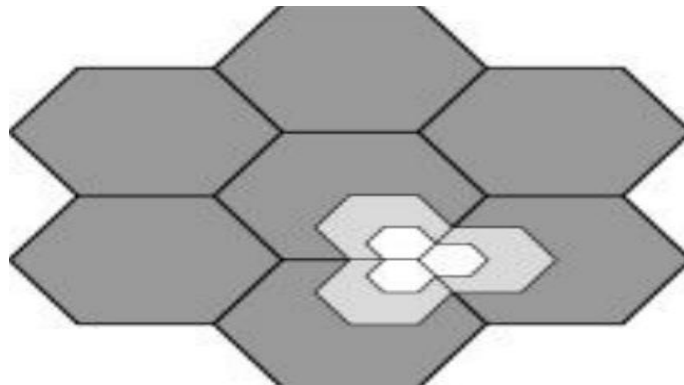
Con la finalidad de que una red LTE cuente con el correcto funcionamiento, se debe tomar en cuenta el número en porcentaje de usuarios a brindar el servicio, ya que si una celda está congestionada es aconsejable dividir en celdas más pequeñas, con una gran importancia del control de potencia para que la señal quede en la celda donde se brindará el servicio; este proyecto, se basa en una sectorización de celda a  $120^{\circ}$ , es decir se utilizará 3 antenas sectoriales especializadas a cubrir cada parte de la celda.

De igual manera este proyecto se procede a seleccionar las bandas AWS debido a su gran facultad de transmisión de datos, con el fin beneficioso para los usuarios ya que mejora la calidad y la demanda de datos. Estas bandas AWS que son de 1700 y 2100 [MHz]; Cabe indicar que LTE puede trabajar con varios anchos de banda en operación

que son: 1,4MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz y 20MHz, para una buena elección de ancho de banda de operación se afirma que mientras mayor cantidad de espectro (MHz) los usuarios navegarán a mayor velocidad (Mbps), de igual manera se analiza el flujo de usuarios a brindar el servicio y la disponibilidad de espectro en la zona que se desea brindar el servicio, por tales puntos indicados se selecciona de 20 MHz en este proyecto.

La altura efectiva de la antena se considera de 30m, con un breve análisis situacional de la zona a brindar la cobertura, se selecciona un punto central de la celda LTE y hacia los 3 puntos finales de las zonas sectoriales, mediante Google Earth es aproximadamente de 900m-1Km, por tal razón, utilizando el Teorema de Pitágoras, se procede a calcular el valor de ángulo Tilt que considera lo siguiente:  $\tan \frac{30}{900} = 1,909^\circ$ , para fines prácticos el valor será de  $2^\circ$ .

Figura 3.1 Ejemplo de División de celdas



Fuente: (Redes Celulares Inalámbricas, 2015)

Se procede a realizar un análisis situacional del sector, para un lugar adecuado que sea un punto central de la celda LTE, se utilizará un arreglo de mástiles, aprovechando un edificio que se encuentra en dicho punto estratégico, este diseño no necesitará una torre auto soportada por el motivo indicado y también por el costo de implementación del mismo. Este arreglo de mástiles a utilizarse cuenta con un conjunto de tubos de acero galvanizado.

Figura 3.2 Mástil tipo H



Fuente: (Apolo, 2020)

### 3.3 Modelo de Propagación

A los modelos de propagación se lo puede definir como la agrupación de datos matemáticos, diagramas y algoritmos empleados para la expresión de las propiedades de radio en un ambiente dado. (Nova Scientia, 2017)

Para el presente proyecto será elaborado con el Modelo Hata Extendido o conocido también como Modelo Cost231, el mencionado modelo se utilizará debido a que es adecuado por varios puntos a tomar en cuenta, dicho modelo trabaja bien con el intervalo de frecuencias de las bandas AWS, este modelo también está dentro de los parámetros de medidas de la altura efectiva del transmisor que es de 30 a 200m, la altura efectiva del receptor que es de 1 a 10m y también este modelo considera la disparidad que existe en el transmisor y receptor que es de 1km a 20km. El modelo Cost231 es una versión del Modelo Okumura-Hata más utilizada, con una característica principal la extensión del rango de frecuencia hasta 2GHz y también incorpora un elemento de corrección que corresponde al tipo de ambiente. Las pérdidas de propagación de este modelo, están representadas por la siguiente ecuación:

$$L \text{ (dB)} = 46,3 + 33,9 \log f - 13,82 \log(h_{eb}) - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log h_{eb}) \log d + C_M \quad Ec(3.1)$$

Donde  $C_M$  es igual a 0dB en ciudades medianas y áreas suburbanas y es igual a 3dB para centros metropolitanos. El factor  $h_m$  es calculado con las expresiones matemáticas a lo que corresponde el modelo de Okumura-Hata, en cual este factor de corrección depende de altura del móvil y la frecuencia de operación. (Universidad, Ciencia y Tecnología, 2012)

$$a(h_m) = (1,1 \log f - 0,7)h_m - 1,56 \log f - 0,8 \quad \text{Ec(3.2)}$$

Factor de corrección para ciudades pequeñas o medianas

$$a(h_m) = 8,29[\log(1,54h_m)]^2 - 1,1 \quad \text{Ec(3.3)}$$

Factor de corrección para ciudades grandes y  $f \leq 400\text{MHz}$

$$a(h_m) = 3,2[\log(11,75h_m)]^2 - 4,97 \quad \text{Ec(3.4)}$$

Factor de corrección para ciudades grandes y  $f > 400\text{MHz}$

Tabla 3.1 Características del Modelo Cost 231

MODELO COST 231	
Altura efectiva del transmisor	30-200 [m]
Altura efectiva del receptor	1-10 [m]
Distancia entre transmisor y receptor	1-20 [km]

Fuente: (Victoria Guachán- Pablo Cajías , 2014)

Considerando, los datos técnicos, se procede a realizar los cálculos de las pérdidas de propagación que existirá, con la utilización de la ecuación 3.1.

$$L (dB) = 46,3 + 33,9 \log f - 13,82 \log(h_{eb}) - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log h_{eb}) \log d + C_M$$

Donde  $C_M = 0$ , se procede a realizar el cálculo del factor de corrección, con la ecuación 3.4:

$$a(h_m) = 3,2[\log(11,75h_m)]^2 - 4,97$$

$$a(h_m) = 3,2[\log(11,75 * 2)]^2 - 4,97$$

$$a(h_m) = 1,045$$

Se reemplaza este valor en la ecuación 1, y se tiene:

$$L (dB) = 46,3 + 33,9 \log 1850 - 13,82 \log(30) - 1,045 + (44,9 - 6,55 \log 24) \log 2 + 0$$

$$L (dB) = 147,73$$

Esta pérdida representaría la mayoría de parte de la atenuación total que respecta a la propagación de las ondas electromagnéticas de la red LTE.

### 3.4 Equipos y Materiales

**Equipos de funcionamiento para la cobertura, modulación, técnica de acceso al medio, potencia, codificación y sincronización.**

Figura 3.3 Antena Sectorial DBXLH-6565C-VTM



Fuente: (Alibaba Group, 2020)

Figura 3.4 Antena Sectorial DBXLH-6565C (Vista Frontal)



Fuente: (Alibaba Group, 2020)

Tabla 3.2 Especificaciones Generales de DBXLH-6565C-VTM

Tipo de Antena	Sectorial
Banda	Multibanda
Color	Gris Claro
Tipo de Puesta a Tierra	Conector interno del conector RF y cuerpos conectados a tierra y el reflector al soporte de montaje
Nota de Rendimiento	Uso al aire libre
Material de Radomo	PVC, resistente a los rayos UV
Material del Radiador	Aluminio
Interfaz del Conector de RF	7-16 DIN Hembra
Ubicación del Conector de RF	Fondo
Cantidad de Conectores RF, Banda Alta	2
Cantidad de Conectores RF, Banda Baja	2
Cantidad de Conectores RF, Total	4

Tabla 3.3 Dimensiones de Antena DBXLH-6565C-VTM

Anchura	269mm
Profundidad	132mm
Longitud	2577mm

Tabla 3.4 Especificaciones Eléctricas de Antena DBXLH-6565C-VTM

Impedancia	50 ohm
Banda de Operación en Frecuencia	824-960 MHz / 1710-2180 MHz
Polarización	+45°

Tabla 3.5 Especificaciones Eléctricas Específicas de Antena DBXLH-6565C-VTM

Freq, Banda MHz	824-896	870-960	1710-1880	1850-1990	1920-2180
Ganancia, dBi	16,8	17,4	18,5	18,7	18,3
Ancho del Haz, Horizontal (°)	70	67	66	62	60
Ancho del Haz, Vertical (°)	7,7	7,4	4,9	4,6	4,3
Grado de Inclinación del Haz, (°)	0-8	0-8	0-6	0-6	0-6
USLS (Primer Lóbulo), db	15	15	15	15	15
Relación delante-atrás a 180°, db	26	27	32	32	28

Aislamiento, Polarización Cruzada, db	30	30	30	30	30
Aislamiento, Interbanda	35	35	35	35	35
VSWR, Pérdidas de Retorno	1.4 – 15.6	1.5 - 14	1.5 - 14	1.4-15-6	1.5 - 14
Potencia de entrada por puerto, Máxima	350	350	350	350	350

Tabla 3.6 Especificaciones Mecánicas

Carga de Viento a Velocidad, Frontal	922N / 150km/h
Carga de Viento a Velocidad, Lateral	202N / 150km/h
Carga de Viento a Velocidad, Trasera	1.003N / 150km/h
Velocidad de viento Máxima	201km/h

Figura 3.5 RRU 3004



Fuente: (Alibaba Group, 2020)

Tabla 3.7 Detalles Generales de la RRU a utilizarse

Modelo	RRU3004
Marca	Huawei
Uso	BTS

Figura 3.6 Estación de Base Distribuida DBS3900 BBU



Fuente: (Alibaba Group, 2020)

Tabla 3.8 Especificaciones de la BBU DBS3900

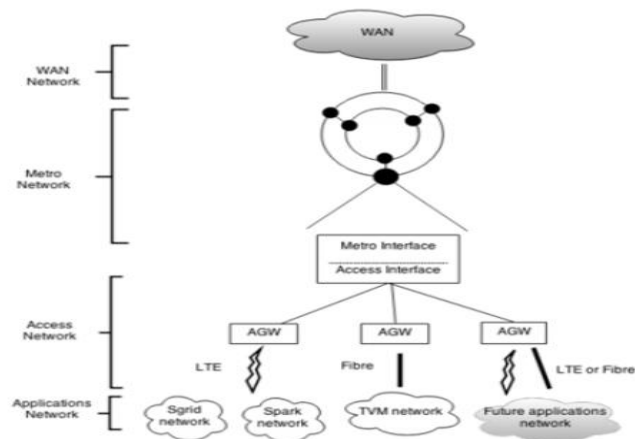
Funcionamiento	LTE TDD/FDD
Puerto de Transmisión	Puerto Eléctrico FE/GE o puerto óptico
Sincronización	GPS

#### **3.4.1 Equipos para el enlace de transporte de la estación base hacia la estación nodal.**

Cabe indicar que LTE no se aplican enlaces inalámbricos hacia la estación nodal, ahora en cambio el tipo de red a utilizarse para la proporción de un alto ancho de banda, redundancia, baja latencia, es necesario una red óptica DWDM, por lo que la tecnología LTE establecería los requisitos de la red de acceso entre usuarios terminales y la radio base, mientras que la tecnología de fibra óptica conocida como anillos DWDM sería la encargada del transporte del tráfico de datos que provienen de la red de acceso, dando forma a la red troncal. (Sánchez, 2018)



Figura 3.7 Arquitectura de una red DWDM



Fuente: (Sánchez, 2018)

La figura 3.7, indica el tipo de red global, que estaría conformado por: la puerta de enlace óptica entre la MAN y la WAN; los varios nodos que se encargan de la agregación de tráfico y la transportación de datos hacia la WAN, dichos nodos se conectan entre sí formando una topología de anillo DWDM. (Sánchez, 2018)

Figura 3.8 IDU RTN 905



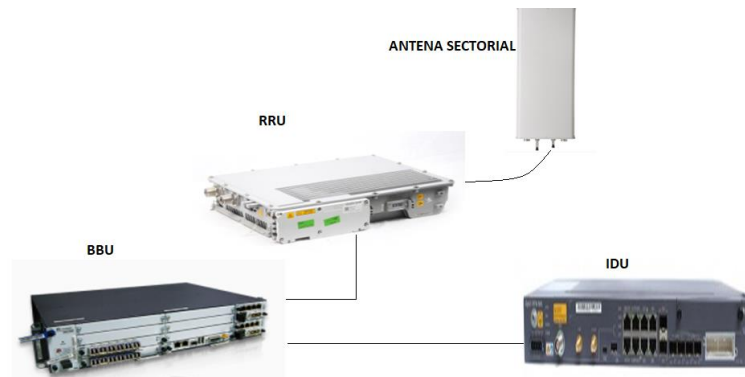
Fuente: (Alibaba Group, 2020)

Tabla 3.9 Especificaciones generales de la IDU RTN 905

Modelo	OptiX RTN 905
Capa de Red	Acceso
Frecuencia	6 a 42 GHz
Espaciamiento de Canal	3.5/7/14/28/40/56 MHz
Modulación	QPSK, QAM
Número de Direcciones de RF	2
Capacidad de Interfaz de Aire	520 a 1000 Mbit/s

### 3.4.2 Topología del diseño de la red LTE con equipos a utilizarse

Figura 3.9 Topología de equipos a utilizarse



Elaborado por: Vaca Alexander

En la figura 3.9, se especifica el diagrama de conexión de los equipos a utilizarse, se indica que desde la BBU hacia la RRU se utilizará cable de fibra óptica para la comunicación; desde un terminal de la RRU hacia la antena tipo panel sectorial se conecta mediante un jumper de cable coaxial; estas conexiones y equipos se indicaron anteriormente que se utilizará para el funcionamiento de la cobertura, modulación, técnica de acceso al medio, potencia, codificación y sincronización.

Para el enlace de la estación base dirigido hacia la estación nodal o para interconexión de otras radios bases, se detalla: que desde el equipo IDU se llevará a cabo un enrutamiento por fibra óptica con tecnología DWDM, formando los ya mencionados anillos de fibra.

También se aclara que para la comunicación entre IDU y BBU será mediante fibra óptica.

### 3.5 Análisis de Costos de equipos a utilizarse en el diseño

Para elaborar un análisis de presupuesto para una futura implementación de una red LTE, se debe tener en cuenta varios parámetros, como por ejemplo como se mencionó anteriormente, se debe observar la posibilidad de tener equipos para reutilizar en lo

que se refiere a la convergencia y migración de 3G a 4G, también se debe tener en cuenta que equipos se deben reemplazar ya que solo trabajarían con este tipo de tecnología. A continuación, se detalla una tabla de que equipos se deberían utilizar y su respectivo análisis de costos.

Tabla 3.10 Equipos y elementos hacia la migración y convergencia de la tecnología LTE

Equipos para tecnología LTE	Equipos a reutilizarse de la migración y convergencia de 3G-4G	Equipos y elementos a ser reemplazados por la nueva tecnología
eNodo B	Home Location Register (HLR)	Base Transceiver Station (BTS)
	Gateway GPRS Support Node (GGSN)	
Media Gateway (MGW)	Equipment Identity Register (EIR)	Base Station Controller (BSC)
	Visitor Location Register (VLR)	

Fuente: (Victoria Guachán- Pablo Cajías , 2014)

Los costos de los equipos a utilizarse dependientes de la operadora que impartirá la infraestructura, implementación, configuración, diseño, contrato de personal para la red LTE que se desea óptima y con una eficiencia adecuada a los usuarios que podrán aprovechar esta tecnología.

Para el eNodoB, se necesitará de 3 antenas sectoriales, las cuales impartirán la cobertura a la celda que se desea dar el servicio. A continuación, se detallan todos los equipos a utilizarse en este diseño de una infraestructura de red LTE.

Este tipo de red celular, se utilizará referencialmente un diseño de red hexagonal, con una estación base, 3 antenas sectoriales a 120°, 1 BBU, 3 RRU, 1 IDU, cable coaxial, fibra óptica.

Tabla 3.11 Detalle de presupuesto referencial de los equipos que intervienen en el diseño de simulación de la red LTE

Equipo y/o Material	Cantidad	Valor
Antena Sectorial DBXLH-6565C-VTM	3	\$2250,00
RRU 3004	3	\$1500,00
Estación de Base Distribuida DBS3900 BBU.	1	\$3000,00
IDU RTN 905	1	\$1960
Infraestructura Metálica de Soporte	1	\$1000
Fibra Óptica	30m	\$137,5
Cable Coaxial	15m	\$20,00
Arrendamiento de propiedad	1	\$200,00
Total		\$10067,5

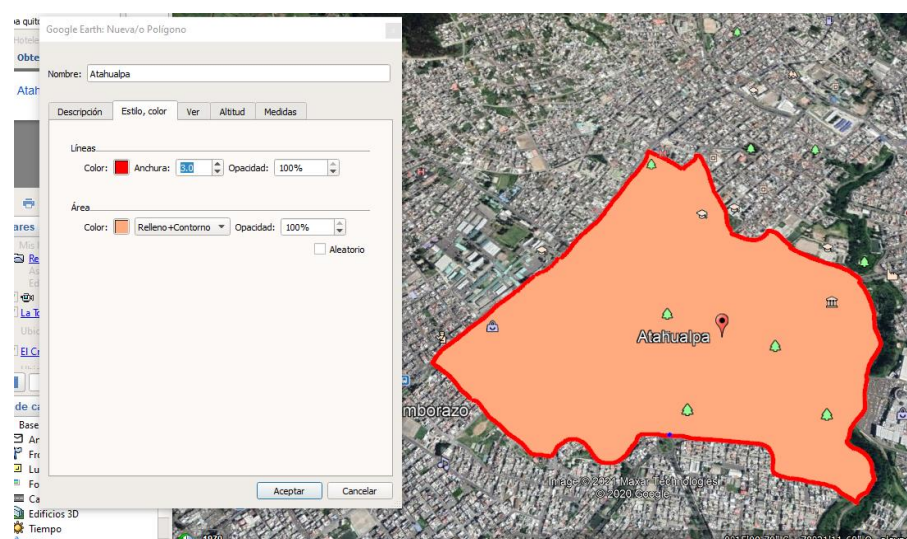
Fuente: (Alibaba Group, 2020)

### 3.6 Análisis de los parámetros topográficos del barrio Atahualpa

La infraestructura de la red LTE para brindar el servicio de este tipo de tecnología, se detalla, primeramente, con una ubicación estratégica de la estación base y previamente ya se mencionó a todos los elementos que intervienen.

Con respecto al análisis, del lugar que se realizará el diseño y la simulación, corresponde decir que el barrio Atahualpa pertenece a la ciudad de Quito, localizado en el sur de la ciudad. Sus límites son: en el sur: San Bartolo; al norte: La Magdalena; al este: el Camal; y al Oeste: El Pintado.

Figura 3.10 Representación territorial del Barrio Atahualpa en Google Earth



Elaborado por: Vaca Alexander

La figura 3.10, permite una vista general de la representación territorial del Barrio Atahualpa, ya que se detalla el límite que implica el sector a dar el servicio de red LTE para verificar que la cobertura sea dada en dicha vista y no se aprecie señalización hacia los límites geográficos que tiene el barrio, los cuales son indicados en la tabla 18, que se muestra a continuación.

Tabla 3.12 Límites Geográficos del Barrio Atahualpa

Norte	La Magdalena
Sur	San Bartolo
Este	El Camal
Oeste	El Pintado

Tabla 3.13 Datos de análisis de cobertura

Tipo de Celda	Rango de Radio	Número de Estaciones TX/RX
Microcelda	0,5-2km	3

Fuente: (Vásquez, 2009)

Para la debida justificación del tipo de celda a utilizarse en este proyecto, se detalla la siguiente tabla:

Tabla 3.14 Tipos de Celdas móviles, radios de cobertura y aplicaciones

Tipo de Celda	Radio de Cobertura	Aplicación
Macro-celda	1-20km	Empleadas en zonas rurales y poblaciones cercanas a dichas zonas.
Micro-celda	500m – 2km	Se emplea en zonas urbanas con densidad poblacional elevada.
Pico-celda	100m – 300m	Servicio en áreas pequeñas, por ejemplo, edificios, centros comerciales, estadios, aeropuertos, etc, con alta densidad de tráfico.
Femto-celda	Menor 50m	Son utilizadas para el mejoramiento de cobertura móvil en interiores como por ejemplo un condominio.

Fuente:(Jaramillo, 2015)

A continuación, se detalla los parámetros de configuración, en la celda que brindará la cobertura necesaria, dividida en 3 sectores.

Tabla 3.15 Parámetros del Sector 1 de la celda LTE

Configuración del Sector 1 para la cobertura LTE	
Parámetros	Valores
Potencia (W)	0,2
Frecuencia (MHz)	1850
Ganancia (dBi)	10
Modelo de Propagación	Cost-231
Sectorización (°)	120
Altura de la antena (m)	30
Azimut (°)	0
Tilt (°)	2
Latitud	0°14'58,69" S
Longitud	78°31'49,97" O
Ancho de Banda de Operación (MHz)	20

Elaborado por: Vaca Alexander

Tabla 3.16 Parámetros del Sector 2 de la celda LTE

Configuración del Sector 2 para la cobertura LTE	
Parámetros	Valores
Potencia (W)	0,2
Frecuencia (MHz)	1870
Ganancia (dBi)	10
Modelo de Propagación	Cost-231
Sectorización (°)	120
Altura de la antena (m)	30
Azimut (°)	120
Tilt (°)	2

Latitud	0°14'58,69'' S
Longitud	78°31'49,97'' O
Ancho de Banda de Operación (MHz)	20

Elaborado por: Vaca Alexander

Tabla 3.17 Parámetros del Sector 3 de la celda LTE

Configuración del Sector 3 para la cobertura LTE	
Parámetros	Valores
Potencia (W)	0,2
Frecuencia (MHz)	1890
Ganancia (dBi)	10
Modelo de Propagación	Cost-231
Sectorización (°)	120
Altura de la antena (m)	30
Azimut (°)	240
Tilt (°)	2
Latitud	0°14'58,69'' S
Longitud	78°31'49,97'' O
Ancho de Banda de Operación (MHz)	20

Elaborado por: Vaca Alexander

Se aclara que los dispositivos de antenas que trabaja LTE son radiotransmisores de baja potencia, por lo cual se ha escogido 0,2W, también con respecto a la ganancia, se elige el valor de 10dB, ya que se realizó un análisis previo de que ganancia se utiliza para una red LTE con respecto a la distancia a cubrir.

## CAPÍTULO 4

### SIMULACIÓN, PRUEBAS, RESULTADOS Y ANÁLISIS

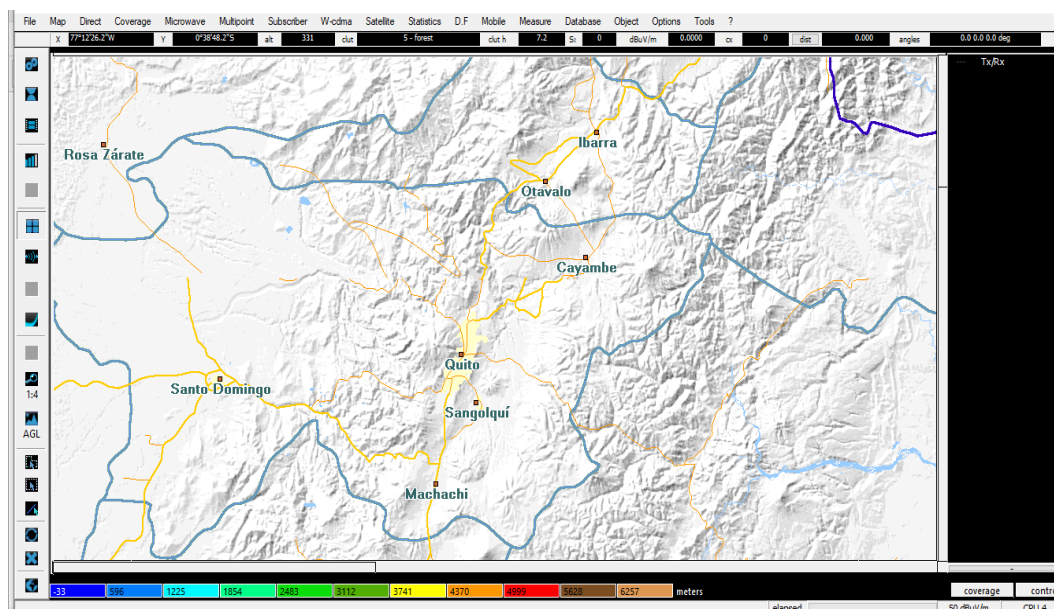
Este proyecto se procederá a realizar las pruebas necesarias con el análisis respectivo con la utilización del software ICS Telecom, el cual es un software proveniente de la empresa ATDI.

Se considera que existen varias herramientas para simulación de redes de cobertura en telecomunicaciones, se optó por este tipo de programa, ya que permite un análisis profundo de los parámetros a utilizarse en el proyecto y posterior a ello se espera exportar la simulación de la cobertura con la ayuda de Google Earth.

#### 4.1 Configuración de Parámetros en la red LTE en ICS Telecom

Se empieza importando el mapa de Ecuador en el software ICS Telecom, para comenzar un nuevo proyecto.

Figura 4.1 Mapa del Ecuador importado en el software ICS Telecom



Elaborado por: Vaca Alexander



Las coordenadas de la estación base serán: 0°14'58,69'' latitud Sur, y 78°31'49.97'' longitud Occidental, el radio aproximado es de 0.9km desde la estación hacia los puntos finales que se requieren en la cobertura para las 3 zonas sectoriales. En el software ICS Telecom, con la utilización del ícono de Tx/Rx Mode, se procede a configurar los parámetros respectivos.

Figura 4.2 Configuración de parámetros en las zonas de cobertura de las antenas sectoriales a utilizarse

The screenshot shows the 'Tx/Rx parameters' window with the following settings:

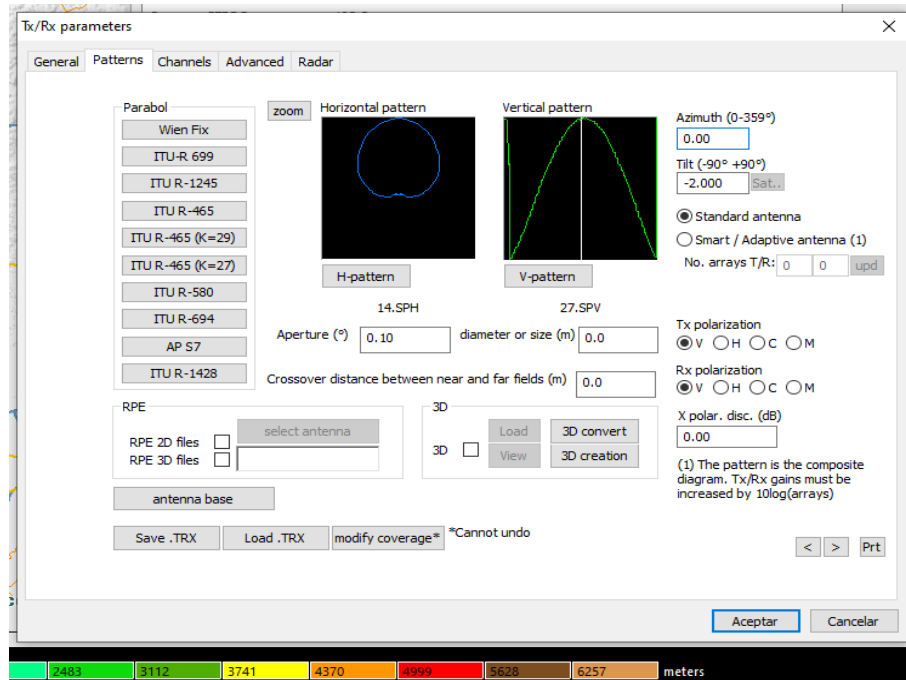
- Name:** Sector X
- Frequency plan:** (dropdown menu)
- Type:** Tx/Rx A
- Signal:** LTE
- Site color:** (color selection)
- Buttons:** Load .TRX, Save .TRX, Load .TGS
- Tx/Rx Section:**
  - Nominal power (W): 0.2
  - Dynamic (dB): 0
  - Tx ant gain (dBd): 8.85
  - Rx ant gain (dBd): 0.00
  - Losses (dB): tx 0.72, rx 0.00
  - Add losses (dB): 1.23
  - E.R.P (W): 0.9795578
  - Frequency (MHz): 1850.00000
  - Antenna height (m): 30.00
  - Tx bandwidth (kHz): 20000.00
  - Rx bandwidth (kHz): 20000.00
- Frequency Options:**
  - ☒ fixed frequency
  - ☐ freqhop/wide band
  - equipment table
  - SQL record 0
- Buttons:** Aceptar, Cancelar
- Bottom Bar:** 3483 3112 3741 4370 4999 5628 6257 mHz

Elaborado por: Vaca Alexander

En la figura 4.2, se detalla los parámetros configurados de una antena sectorial, los cuales son: El tipo es Tx/Rx, ya que la comunicación es bidireccional; el tipo de señal elegido es LTE; cabe indicar que los dispositivos LTE son radiotransmisores de baja potencia, por lo cual se ha escogido 0,2W que está dentro del alcance para cumplir con la distancia máxima del sector a brindar el servicio; como la distancia máxima a cubrir es un aproximado de 0.92Km, se elige una ganancia de 9dB, la cual está un rango adecuado acorde al valor de ganancia dependiente de la distancia a cubrir; la frecuencia a utilizarse en esta simulación de celda LTE es 1850MHz; la altura máxima de las antenas será de 30metros; las pérdidas que se presentan corresponde a los conectores

necesarios entre los equipos a utilizarse y por último se elige un ancho de banda de operación en 20MHz, debido a la gran afluencia de población que presenta el sector.

Figura 4.3 Configuración de patrón de radiación horizontal y vertical, tilt y ángulo azimuth

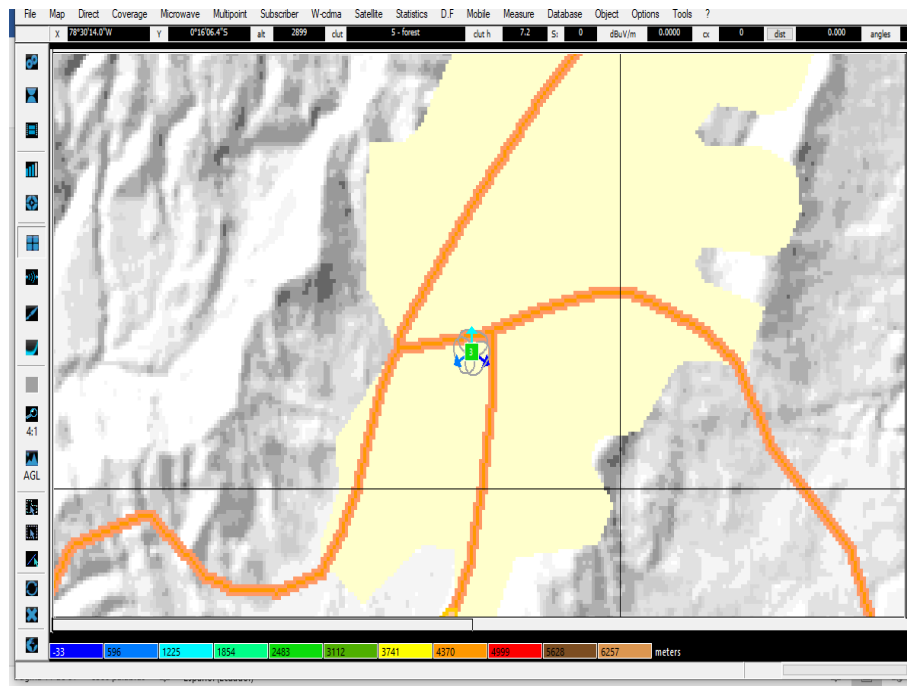


Elaborado por: Vaca Alexander

En la figura 4.3, se indica el patrón de radiación a utilizarse, que sea acorde para las características que presenta la celda LTE que brindará la cobertura al barrio Atahualpa, se considerará un Azimuth de 0°, 120° y 240° para los 3 sectores. Con respecto al tilt mecánico, se presentó un análisis previo con respecto a los valores del ángulo del tilt para utilizar una fórmula que se detalla a continuación: la distancia máxima desde el centro de la celda LTE hacia el punto final de cobertura es de 0.9Km, la altura de la antena es de 30m, entonces para el cálculo del ángulo del tilt se consideró:

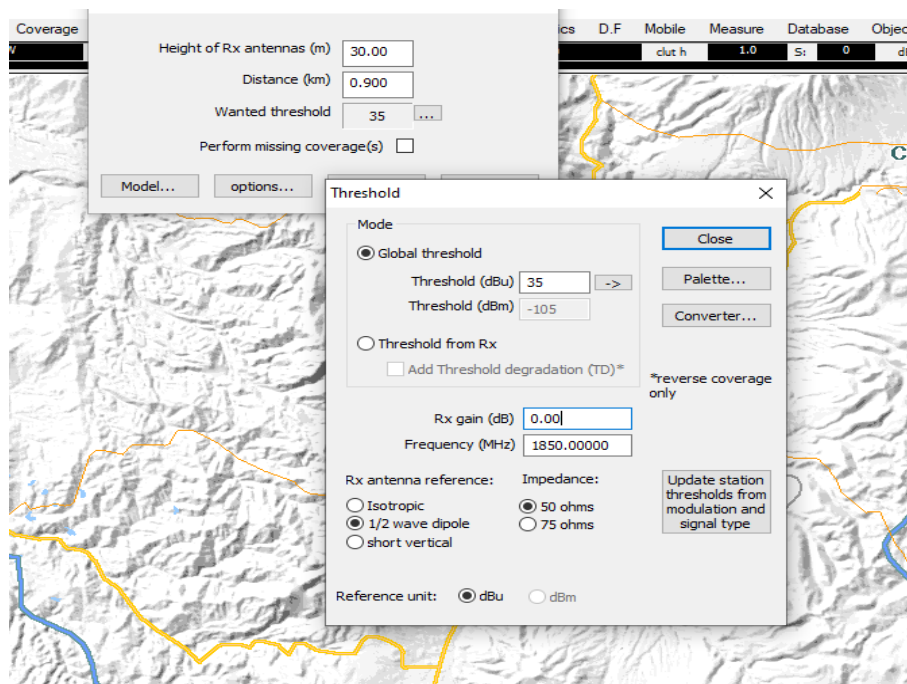
$$\tan^{-1} \theta = \frac{30}{900}, \text{ dando como resultado el ángulo de } 2^\circ.$$

Figura 4.4 Ubicación de las antenas sectoriales, correspondientes a sus sectores de cobertura, con una sectorización a 120°



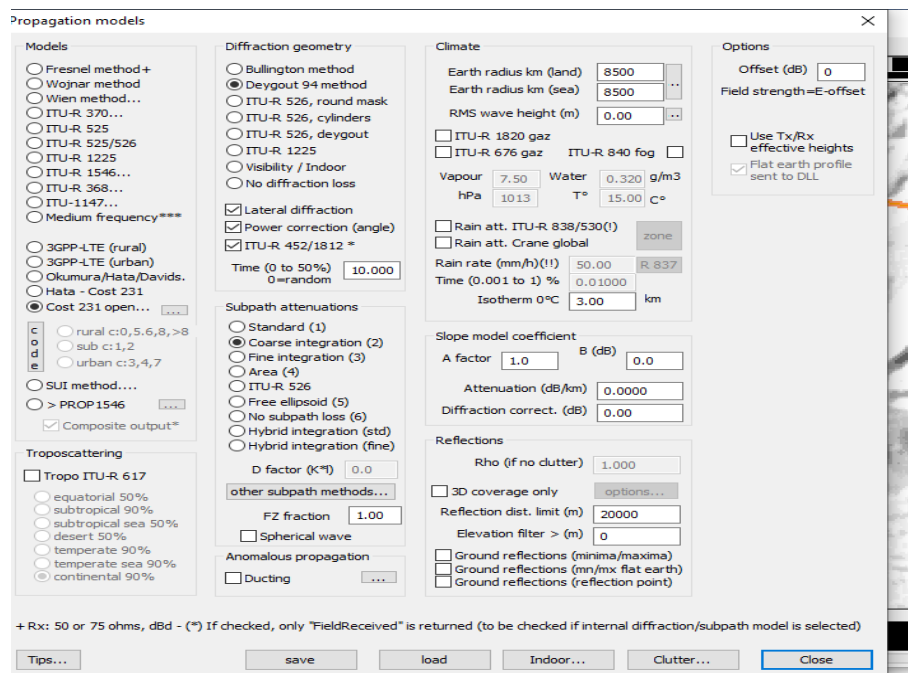
Elaborado por: Vaca Alexander

Figura 4.5 Parámetros de cobertura en ICS Telecom, con una Sensibilidad de Recepción de -105dbm, que se detalla en la tabla 4.1 posteriormente



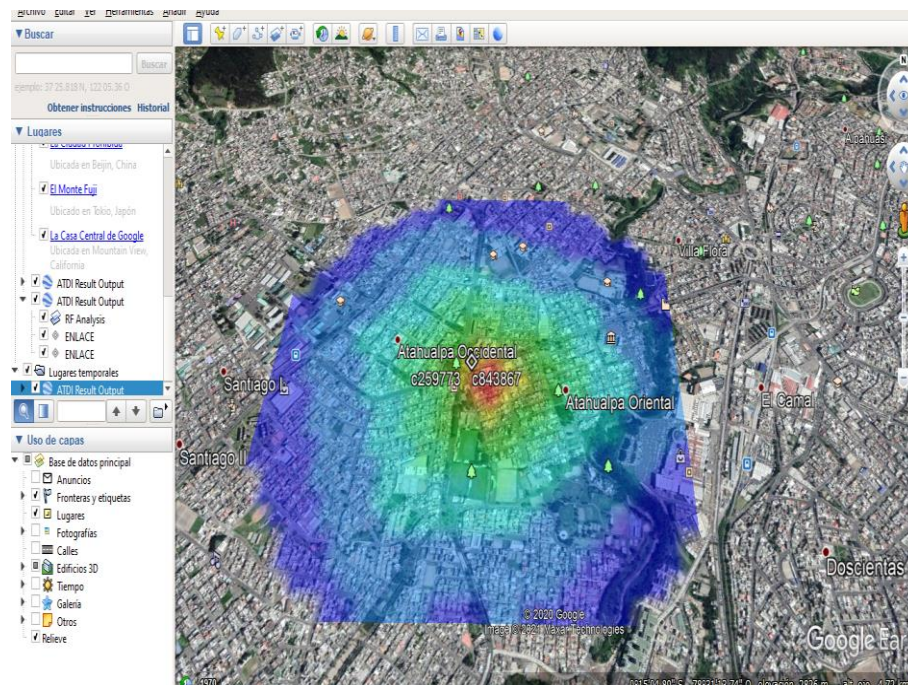
Elaborado por: Vaca Alexander

Figura 4.6 Elección del Modelo a utilizar, Cost-231



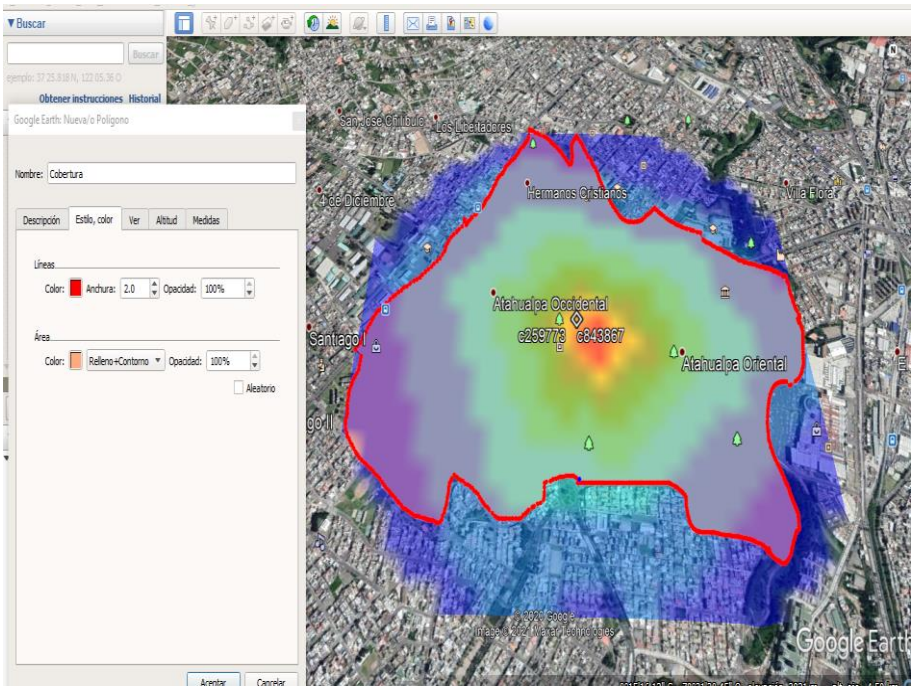
Elaborado por: Vaca Alexander

Figura 4.7 Exportación de Cobertura en Google Earth



Elaborado por: Vaca Alexander

Figura 4.8 Análisis de la cobertura exportada con el perfil del Barrio Atahualpa



Elaborado por: Vaca Alexander

Para analizar la figura 4.8, se adjunta una tabla con el nivel de intensidad de la señal en redes 4G, detallada a continuación:

Tabla 4.1 Relación entre potencia de recepción en dispositivos finales y la intensidad de la señal en redes 4G

Calidad de la Señal	Potencia de recepción en el dispositivo móvil (dbm)
Excelente	-75 a -88
Buena	-89 a -96
Regular	-97 a -105
Mala	-106 a -112
Pésima	-113 a -125

Fuente: (Carrodegua, 2015)

Con la indicación de la tabla 4.1 y la figura 4.8, se aclara que la representación de la zona en color rojo y amarillo presenta una calidad de señal excelente ya que los usuarios están cerca del eNodoB y presentan una potencia de recepción adecuada para una buena comunicación; la franja de color verde y celeste se considera una calidad de

señal buena, es decir que estaría en el nivel de potencia de recepción entre -89 a -96 dbm, ya que representarían la potencia de recepción de los dispositivos en el intervalo de presentado en la tabla anterior; el sector presentado con el color lila, según lo presentado estaría en una calidad de regular, debido al alejamiento de parte de los dispositivos de la estación base, se considera el intervalo presentado en la tabla de potencia de recepción que esta franja receptoría; En este proyecto se considera una sensibilidad del receptor móvil de -105dbm, ya que sería lo ideal como el umbral mínimo para que la comunicación sea lo mejor posible, esto quiere decir que valores inferiores en potencia de recepción el eNodeB les tomaría como ruido es decir no las procesa dentro de su celda que estaría cubriendo la red, esta franja es representada por el color azul que se puede visualizar.

Dentro de todo lo explicado anteriormente, se puede concluir que los parámetros técnicos con el análisis respectivo se considera un diseño viable, ya que el perfil que se indica en Google Earth de color rojo es la representación del barrio que se desea brindar el servicio de LTE y se aprecia que cubre la zona de una manera óptima dentro de los niveles de recepción hacia los dispositivos móviles.



## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES**

- Con la utilización del software ICS Telecom, se aprecia que el diseño planteado con los detalles técnicos analizados y utilizados en el proyecto determinó el abastecimiento de cobertura y conectividad en el barrio Atahualpa.
- Al realizar el análisis situacional, se determinó que con la utilización de un arreglo de mástiles en la parte superior de un edificio presentado en el sector y siendo un punto central de la celda LTE sería el adecuado para los resultados esperados en el proyecto y con ello se determina que no es necesario una radiobase con torre autosoportada por el costo que implicaría la elaboración y mantenimiento de la misma.
- Los valores de latencia que se presentan en la tecnología 3G, según la aplicación indica un valor de 3043ms, el implementar una red LTE sería un avance significativo, ya que los valores recomendados de latencia para la tecnología 4G idealmente es de 60ms, con esto conllevaría a mejores comunicaciones en la red entre los dispositivos finales y servidores.
- El uso del modelo Cost-231 es adecuado, ya que trabaja bien en el intervalo de frecuencias de las bandas AWS, está dentro de los parámetros de medidas de la altura efectiva del transmisor y receptor, y además considera la diferencia entre el transmisor y receptor que se encuentra en el rango de 1 a 20 km.
- La determinación en costos es un punto muy importante a tomar en cuenta para un proveedor, en este proyecto se detalla el valor total para una posible implementación a futuro, se determina que es un costo aceptable para la gran demanda que existe de usuarios que requieren un buen servicio, es decir que invertir en este tipo de implementaciones a corto plazo sería recuperable financieramente para el proveedor y satisfactoriamente para los usuarios.
- Existe compatibilidad y es posible una reutilización de equipos 3G a 4G, esto se detalla en las antenas tipo panel que permiten trabajar con distintas frecuencias en las tecnologías mencionadas sin presentarse interferencia de la señal proporcionada hacia los terminales finales.
- Para que la red LTE trabaje eficientemente dentro del entorno geográfico elegido, se realizó el análisis previo con respecto al tamaño de la celda,

frecuencia de operación, potencia máxima, ganancia ideal, dando por resultado el servicio y cobertura sea la idónea.



## **RECOMENDACIONES**

- Realizar un estudio de encuesta a personas que habitan en el lugar para conocer su grado de conformidad e inconformidad con la tecnología móvil que utilizan.
- Determinar un punto central de la celda LTE con una altura efectiva para que pueda lograr la cobertura necesaria y requerida en el sector.
- Investigar de igual manera otra aplicación confiable que permita verificar los datos presentados indicados con la aplicación presentada en este proyecto.

## REFERENCIAS

- 3GPP A GLOBAL INITIATIVE. (2021). *El estándar de banda ancha móvil. LTE*. Obtenido de <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>
- Apolo, F. M. (2020). *Diseño e implementación de una celda celular con tecnologías 2G, 3G y LTE*. Quito: EPN.
- ARCOTEL. (2020). *Panorama de Mercado Ecuador*. Quito: TeleSemana.
- arcotel.gob.ec*. (Julio de 2017). Obtenido de <https://www.arcotel.gob.ec>
- Carrodegua, N. (2015). *Intensidad y nivel de la señal en redes móviles 2G, 3G y 4G*. norfipc.com. Obtenido de <https://norfipc.com/redes/intensidad-nivel-senal-redes-moviles-2g-3g-4g.php>
- CLARO. (2020). *claro.com.ec*. Obtenido de <https://www.claro.com.ec>
- Equipo de Expertos de Universidad Internacional de Valencia. (12 de Septiembre de 2017). *Qué es LTE y por qué difiere del 4G*. Obtenido de <https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/que-es-lte-y-por-que-difiere-del-4g>
- Gracia, M. (2021). *IoT - Internet of Things*. Obtenido de Deloitte: <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/IoT-internet-of-things.html>
- Ibarra, E. (2016). *Características Tecnológicas de los Sistemas Móviles de 3G y 4G*. Guayaquil: Universidad Católica de Guayaquil.
- Jaramillo, M. (2015). *Implementación de Red Móvil con Tecnología 4G LTE*. Guayaquil: Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (ESPOL).
- Jimenez, C. A. (2013). *Arquitectura general del sistema LTE*. Madrid: Revista Digital de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.
- López, C. T. (2019). El espectro electromagnético. *Cuaderno de Cultura Científica*.
- Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. (2013). *Logros de la Revolución Tecnológica en Ecuador*. Obtenido de <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/logros-de-la-revolucion-tecnologica-en-ecuador-se-destacan-por-el-dia-nacional-de-las-telecomunicaciones-2/#>
- Nova Scientia. (2017). *Modelo de propagación simplificado para LTE*. Guanajuato: SciELO.
- OMNITRONEC. (18 de Febrero de 2021). *Diferencia entre VHF y UHF*. Obtenido de <https://omnitronec.com/diferencia-entre-vhf-y-uhf/>
- Ordóñez, J. L. (2015). *Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico*. ACTA.
- Orozco N, O. G. (2015). *Estudio de Factibilidad para la migración del Sistema Móvil UMTS/HSPA a LTE*. Quito: Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica del Ejército.
- Redes Celulares Inalámbricas*. (2015). Obtenido de [exa.unne.edu.ar](http://exa.unne.edu.ar)

- Sánchez, Y. (2018). *Diseño de una red de fibra metropolitana para servicios avanzados*. Catalonia: UOC.
- Soria, A. (2020). *Del 1G al 5G, la revolución de la conectividad móvil*. Madrid: TPnet.
- Telecomunicaciones, A. d. (2018). *Boletín Estadístico Cierre 2018*. Obtenido de <https://www.arcotel.gob.ec>
- telecomunicaciones.gob.ec*. (2020). Obtenido de <https://www.telecomunicaciones.gob.ec>
- Universidad Internacional de Valencia. (2020). *Evolución de la red de comunicación móvil, del 1G al 5G*. Valencia: viu.
- Universidad, Ciencia y Tecnología. (2012). *Modelo de propagación para redes wlan, operando en 2.4ghz, en ambientes exteriores*. Puerto Ordaz: UNEXPO.
- Uriarte, J. M. (15 de Mayo de 2020). *Historia del Celular*. Obtenido de Características.co: <https://www.caracteristicas.co/historia-del-celular/>
- Vásquez, V. E. (2009). *Desarrollo de las tecnologías de cuarta generación en las comunicaciones móviles 4g*. Salvador: Universidad Don Bosco.
- Victoria Guachán- Pablo Cajías . (2014). *Factibilidad de un diseño de una red LTE*. Quito: UPS.